

## **Produção de pastagens de precisão:**

### **Estimativa e avaliação da variabilidade espacial da produtividade de biomassa de uma pastagem de regadio com o medidor de prato ascendente e deteção remota**

**Guilherme Barreiros Martins Moura Neves**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em  
**Engenharia Agrónómica**

Orientador: Doutor Ricardo Nuno Fonseca Garcia Pereira Braga

#### **Júri:**

Presidente: Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor Luís Manuel Bignolas Mira da Silva, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutor Ricardo Nuno da Fonseca Garcia Pereira Braga, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

## Agradecimentos

Um agradecimento especial a todos os professores que de alguma forma me influenciaram no decorrer do meu período académico no Instituto Superior de Agronomia. Em especial ao Sr. Professor e Orientador Ricardo Braga, pela proposta do tema, delineamento do trabalho, e acima de tudo por todos os ensinamentos que me transmitiu durante o período da dissertação, bem como anteriormente.

Ao Sr. Eng. João Coimbra por me ter aberto as portas de sua casa, mostrando-me uma agricultura diferente do que conhecia. Agradeço todo o tempo que despendeu comigo e o conhecimento que me transmitiu.

À Herdade da Abegoaria, na pessoa do António Lourenço, por me ter ajudado a escolher o tema, por ter cedido a parcela que foi alvo de estudo nesta dissertação. Acrescento ainda o meu apreço por toda a amizade, incentivo e inteira disponibilidade que sempre demonstrou.

À Agro Analítica pela ajuda no trabalho geoestatístico.

À Fertiprado, na pessoa da Eng. Ana Barradas por ter facultado a composição da mistura utilizada no ensaio.

Às minhas colegas de trabalho da AFLOSOR, que me deram flexibilidade de horário, me apoiaram e incentivaram a terminar esta dissertação.

A todos os meus colegas e amigos, que fiz e que levo para a vida, no seio da comunidade académica, em especial aqueles que me acompanham desde o início deste ciclo e que agilizaram e alegraram todo este processo.

À Luísa, pela capacidade que sempre teve, principalmente no fim do meu percurso académico, em manter-me positivo e motivado.

A toda a minha família, especialmente aos meus pais e avô Fernando por me terem dado a possibilidade e o estímulo de conhecer o mundo agrícola. Aos meus pais, o meu muito obrigado por todos os valores que me inculcaram e todos os esforços que fizeram para me orientar e me dar a melhor formação possível.

## Resumo

Este trabalho propôs-se a estimar e avaliar a variabilidade espacial da biomassa de uma pastagem de regadio, numa parcela com uma área de 14 ha. Para tal utilizou-se o medidor de prato ascendente (MPA), capaz de medir a altura de matéria verde compactada, adicionando-se posteriormente informação obtida por detecção remota (DR), para cálculo de índices de vegetação (IV). Por fim, modelou-se matéria seca (MS) a partir dos dados gerados por estas duas metodologias.

Para tal, percorreu-se a parcela com MPA de modo a registar as alturas da vegetação. Posteriormente foram colhidas 23 amostras de biomassa, em pontos medidos pelo MPA, de modo a obter a MS e calibrar o MPA. Após o tratamento das 10 variáveis tomadas em conta neste trabalho, concluiu-se que todas apresentavam um  $CV > 40\%$ , confirmando a existência de variabilidade espacial na parcela.

A utilização do MPA mostrou-se altamente dependente de calibração. Para o total dos pontos amostrados explicou 43,5% da variabilidade encontrada, no entanto quando retirados pontos acima de 200 mm de altura medida compactada, mostrou-se capaz de prever a variabilidade da MS em 72,4%. Acima de 200 mm apenas foi capaz de explicar 6,2% dos valores observados. Comparando, para a totalidade dos 23 pontos, a previsão da MS por via do MPA e por via da DR observa-se a ligeira diferença de 4,1 pontos percentuais na variabilidade explicada pelo modelo.

Dos vários modelos criados, o que obteve melhor desempenho na estimativa da variabilidade de produtividade de MS foi o modelo que utilizou dados da DR, aplicados a pontos utilizados na calibração e validação do MPA, obtendo-se um  $R^2$  ajustado de 90,2%, diminuindo para 48,8% quando aplicado à totalidade dos pontos.

**Palavras-Chave:** Agricultura de Precisão, Pastagens e Forragens, Variabilidade Espacial, Medidor de Prato Ascendente.

# Abstract

In this work we tried to estimate and evaluate the spatial variability of biomass in an irrigated pasture, with an area of 14 ha. For this main goal, it was used a Rising Plate Meter (RPM), able to measure the height of the compressed plant material. After this, remote sensing information was added, with the purpose of vegetation index calculation. Finally, Dry Matter (DM) was modelled with the information collected with these two methodologies.

To reach the main goal, the plot was scanned with the RPM to register the height of the vegetation. After this, 23 points were sampled, collecting plant material in specific points measured with the RPM before. After the treatment of the ten variables used in this study, it was possible to conclude that all the variables presented a variation coefficient of more than 40%, concluding the existence of spatial variability.

Using the RPM was shown to be highly dependent of calibration. To the total of the sampled points, it explained 43.5% of the present variability. However, when the above 200 mm height of compacted measure were excluded, this device was able to predict 72.4% of the DM variability. About the points that were above 200 mm, the model only explained 6.2% of the observed variability. Comparing the total 23 points, the prediction of DM using the RPM and adding remote sensing, it is possible to check the small difference of 4.1 percentual points in the variability explained by the model.

From the all models created, the model that reached higher performance in estimating the variability of DM production, was the one that used remote sensing applied to the points used in calibrating and validating the RPM. This model was able to obtain an adjusted  $R^2$  of 90,2%, decreasing to 48,8% when applied to the total sampled points.

**Key words:** Precision Agriculture, Grassland and Forage, Spatial Variability, Rising Plate Meter

# Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo .....	ii
Abstract.....	iii
Índice de Figuras .....	vi
Índice de Quadros.....	viii
Acrónimos.....	x
1. Introdução .....	1
2. Revisão Bibliográfica .....	2
2.1. Pastagens e Forragens.....	2
2.1.1. Importância das pastagens e forragens em Portugal, na Europa e no Mundo .....	2
2.1.2. Produção de pastagens e forragens de sequeiro e de regadio .....	4
2.1.3. Crescimento e desenvolvimento de culturas herbáceas – Factores fisiológicos e edafo-climáticos.....	5
2.1.3.1. Factores Fisiológicos .....	5
2.1.3.2. Factores edafo-climáticos .....	7
2.1.4. Ciclo vegetativo das pastagens e forragens em clima mediterrâneo.....	9
2.1.4.1. Curva de produção - Sequeiro .....	9
2.1.4.2. Curva de produção – Regadio.....	11
2.2. Agricultura de precisão .....	13
2.2.1. Conceito.....	13
2.2.2. Tecnologias .....	15
2.2.2.1. Sistema de Posicionamento Global .....	15
2.2.2.2. Sistema de Informação Geográfica.....	16
2.2.2.3. Detecção Remota.....	17
2.2.2.3.1. Índices de Vegetação .....	19
2.2.3. Amostragem e Interpolação de Parâmetros de Variabilidade Espacial .....	20
2.2.4. Aplicação às pastagens e forragens.....	24
2.3. Medidor de prato ascendente (MPA) .....	26

3. Materiais e Métodos.....	28
3.1. Localização da Parcela.....	28
3.2. Caracterização Edafo-Climática.....	29
3.2.1. Caracterização Edáfica.....	29
3.2.2. Caracterização Climática .....	30
3.3. Itinerário Cultural .....	32
3.4. Delineamento experimental e determinações efectuadas.....	33
3.4.1. Amostragens de Campo e Detecção Remota .....	34
3.4.2. Manuseamento e Tratamento dos Dados de Campo e Detecção Remota .....	36
3.4.2.1. Dados de Campo .....	36
3.4.2.2. Detecção Remota.....	36
3.5. Tratamento Estatístico .....	38
4. Resultados e Discussão .....	39
4.1 - Dados de Campo .....	39
4.1.1. Avaliação do MPA como estimador da MS.....	39
4.1.2 Estatística Descritiva .....	43
4.1.1.1 Análise da Variabilidade Espacial.....	46
4.2. Correlação e modelação.....	47
4.2.1. Análise da correlação .....	47
4.2.2. Modelação .....	51
4.2.3. Análise Explanatória do Modelo.....	53
5. Conclusões .....	60
6. Bibliografia .....	62
7. Anexo .....	66
7.1. Quadros da Amostragem de Campo .....	66
7.2. Quadros da Detecção Remota .....	68
7.3. Quadros da Modelação .....	70

## Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução da área de culturas forrageiras, prados e pastagens permanentes entre 1989 e 2016.....	3
Figura 2 Evolução da área de pastagens permanentes entre 2000 e 2015 .....	4
Figura 3 -Efeito da arquitectura da vegetação na intercepção de luz.....	7
Figura 4 Influência do tipo de solo na capacidade de retenção de água .....	9
Figura 5 Curva típica de crescimento de pastagens de sequeiro em clima mediterrânico. a) anos e/ou regiões de maior precipitação ; b) anos e/ou regiões mais secas.....	10
Figura 6 Curva típica de crescimento de pastagens de regadio em clima mediterrânico.....	11
Figura 7 Ciclo da agricultura de precisão.....	14
Figura 8 GPS na agricultura.....	15
Figura 9 Diferentes tipos de camadas de informação de um SIG .....	16
Figura 10 Funcionamento simplificado da detecção remota, obtida por satélite, avião ou VANT, identificando a altura ao chão (H) e o IFOV ( $\beta$ ). .....	17
Figura 11 Efeito da variação da resolução espacial numa imagem digital .....	18
Figura 12 Comportamento da radiação da folha.....	18
Figura 13 Esquemas de amostragem, uniforme, estratificado e de precisão. ....	21
Figura 14 a) Amostragem aleatória; b) amostragem estratificada; c) amostragem por grelha .....	21
Figura 15 Explicação simplificada IDW .....	23
Figura 16 a) Constituição básica de um MPA; b) funcionamento do contador.....	26
Figura 17 Parcela de 14 ha em estudo à escala 1:7000.....	28
Figura 18 Carta de Solos (Pag; Sbl; Vt).....	29
Figura 19 Diagrama ombrotérmico de Gaussen dos dados históricos para a estação do Montijo (1998-2018).....	30
Figura 20 Temperaturas mínimas, médias e máximas dos dados históricos para a estação do Montijo (1998-2018).....	30
Figura 21 Diagrama ombrotérmico de Gaussen nos anos 2017 e 2018 para a estação do Montijo .....	31
Figura 22 Temperaturas mínimas, médias e máximas nos anos 2017 e 2018 para a estação do Montijo .....	31

Figura 23 Fluxograma do ensaio.....	33
Figura 24 Pontos amostrados com o MPA e pontos de amostragem de biomassa. ....	34
Figura 25 Corte de biomassa com o MPA ao lado.....	35
Figura 26 Regressão Linear com os 23 pontos amostrados .....	40
Figura 27 Regressão linear com os 15 pontos seleccionados com alturas de medição pelo $MPA \leq 200$ mm.....	40
Figura 28 Regressão linear com os 8 pontos seleccionados com alturas de medição pelo $MPA > 200$ mm.....	41
Figura 29 MS observada (xx) e MS estimada (yy) obtida pelo método de reamostragem de Jackknife, com $R^2=0,608$ e $m=0,958$ . ....	42
Figura 30 Variabilidade espacial da pastagem na parcela. a) Variabilidade espacial da altura medida pelo MPA; b) Variabilidade espacial da MS da parcela, obtida a partir da altura medida pelo MPA e pela recta de calibração. ....	46
Figura 31 Carta de variabilidade espacial da MS. a) Variabilidade espacial, obtida por Krigagem da altura, e posterior calculo da MS, a partir de uma regressão linear; b) Variabilidade espacial, obtida através do 6º modelo criado neste trabalho, como uma resolução espacial de 10m, coincidente com a resolução espacial do satélite.....	54
Figura 32 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 1 .....	58
Figura 33 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 2 .....	58
Figura 34 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 3 .....	58
Figura 35 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 4 .....	58
Figura 36 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 5 .....	59
Figura 37 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 6 .....	59
Figura 38 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 7 .....	59
Figura 39 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 8 .....	59



## Índice de Quadros

Quadro 1 Calendário de operações e factores de produção aplicados.....	32
Quadro 2 Composição da mistura comercial “Speedmix” .....	32
Quadro 3 Índices de vegetação e respectivas fórmulas. ....	37
Quadro 4 Interpretação das regressões lineares com o total de 23 e 15 pontos amostrados. ....	39
Quadro 5 Estatística descritiva para os dados de campo, em bruto (n=23). ...	44
Quadro 6 Estatística descritiva para os dados de DR por satélite (n=23). ....	45
Quadro 7 Correlação entre as variáveis de campo (n=23). ....	48
Quadro 8 Correlação entre os dados da DR por satélite, em bruto (n=23) .....	49
Quadro 9 Correlação entre os dados da DR por satélite com os dados de campo, em bruto (n=23).....	50
Quadro 10 Resumo dos parâmetros utilizados em cada modelo e respectivo $R^2$ ajustado.....	52
Quadro 11 Modelo 1 - $R^2$ ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para os 10 melhores modelos de previsão da MS com base na DR por satélite n=23.....	55
Quadro 12 Modelo 2 - $R^2$ ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para os 10 melhores modelos de previsão da MS com base na DR por satélite n=15.....	55
Quadro 13 Modelo 3 - $R^2$ ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para o modelo de previsão da MS com base no NDVI n=23.....	56
Quadro 14 Modelo 4 - $R^2$ ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para o modelo de previsão da MS com base no NDVI n=15.....	56
Quadro 15 Modelo 5 - $R^2$ ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para os 10 melhores modelos de previsão da MS com base na DR por satélite e altura com MPA, n=23. ....	56
Quadro 16 Modelo 6 - $R^2$ ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para os 10 melhores modelos de previsão da MS com base na DR por satélite e altura com MPA, n=15. ....	57

Quadro 17 Modelo 7 - $R^2$ ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para o modelo de previsão da MS com base no NDVI e na altura com MPA, n=23. ....	57
Quadro 18 Modelo 8 - $R^2$ ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para o modelo de previsão da MS com base no NDVI e na altura com MPA, n=23. ....	57
Quadro 19 Pontos de amostragem de biomassa, com MV e MS.....	66
Quadro 20 Pontos brutos de amostragem com diferenças de peso MS, MV e alturas medidas pelo MPA (a sublinhado os pontos retirados nas regressões).....	67
Quadro 21 MS estimada a partir do método Jackknife .....	67
Quadro 22 IV por obtido por satélite relativo a cada ponto amostrado.....	68
Quadro 23 Equações de previsão de MS baseado nos diferentes modelos criados e respectivos $R^2$ ajustados. ....	70

## **Acrónimos**

AP - Agricultura de Precisão

B - Radiação relativa ao espectro do azul (Blue)

CV – Coeficiente de Variação

DR – Detecção Remota

DVI - Difference Vegetation Index

EVI - Enhanced Vegetation Index

G - Radiação relativa ao espectro do verde (Green)

GPP - Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral

GPS - Global Position System

I - Intensity

IPVI - Infrared Percentage Vegetation Index

IV - Índices de Vegetação

MPA - Medidor de Prato Ascendente

MS - Matéria Seca de Total

MSG – Matéria Seca de Gramíneas

MSG - Matéria Seca de Gramíneas

MSL – Matéria Seca de Leguminosas

MSL - Matéria Seca de Leguminosas

MSO – Matéria Seca de outros

MSO - Matéria Seca de Outros

MST – Matéria Seca Total

MVG – Matéria Verde de Gramíneas

MVL - Matéria Verde de Leguminosas

MVO - Matéria Verde de Outros

MVT - Matéria Seca Total

NDGBI - Normalized Difference Green Blue Index

NDGRI - Normalized Difference Green Red Index

NDRBI - Normalized Difference Red Blue Index

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

NDVIg - Normalized Difference Vegetation Index – green

NIR – Radiação relativa ao espectro do infravermelho próximo (Near Infra Red)

PCD - Plant Cell Density

PPR - Plant Pigment Ratio

PVR - Photosynthetic Vigour Ratio

R - Radiação relativa ao espectro do vermelho (Red)

RB - Red Blue

RGB – Radiação relativa ao espectro do visível, compósito vermelho (R), verde (G) e azul (B).

S - Saturation

SAU – Superfície Agrícola Utilizada

SAVI - Soil Adjusted Vegetation Index

SGB - Subtraction Green Blue

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

TVI - Transformed Vegetation Index

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

VRT – Variable Rate Technology

# 1. Introdução

A existência da variabilidade espacial sempre foi uma condição conhecida na agricultura (Stafford 2000). No início da história da agricultura a escala de trabalho era muito pequena, permitindo assim trabalhar a terra tendo em conta a variabilidade nela presente, admitindo também a execução de operações diferenciadas em locais específicos e de modo específico. Com a intensificação da mecanização aumentou-se também a escala espacial de trabalho, inviabilizando o tratamento das parcelas de modo diferenciado como inicialmente se fazia.

A Agricultura de Precisão (AP), vem de alguma forma, contrariar esta tendência verificada no período de intensificação da mecanização. Com o aparecimento de algumas tecnologias e metodologias, como o Global Position System (GPS), a Detecção Remota (DR), aplicação de taxa variável (VRT), tornou a ser possível a realização de operações tendo em consideração a variabilidade intrínseca das parcelas. Permitiu ainda a conciliação entre o aumento da escala de trabalho, o rendimento e a eficiência das operações realizadas. Para Schellberg et al. (2008), a maioria das evoluções em AP têm sido aplicadas a culturas arvenses, deixando culturas como as pastagens e forragens para trás.

Em Portugal cerca de 51,5% da Superfície Agrícola Utilizada (SAU) corresponde a pastagens permanentes (INE 2011). Para além da vasta área que esta cultura ocupa e da importância na alimentação animal, esta desempenha um importante papel a nível ambiental e ecológico na mitigação da erosão do solo (Bert e Gils 2010), manutenção da biodiversidade, ou no controlo de vegetação arbustiva e controlo dos incêndios rurais (Moreira e Coelho 2008); a nível económico permitem a redução de consumo de alimentos compostos e tendem a aumentar a qualidade da carne e do leite (Crespo 2011). A nível social têm impacto na ajuda à manutenção de empregos ligados ao sector agro-pecuário, em zonas rurais e no interior (Menezes de Sequeira 1997).

Dada a importância das culturas pratenses em Portugal, torna-se interessante avaliá-las aplicando-lhes alguns métodos de AP. O objectivo da dissertação foi avaliar a variabilidade espacial da produtividade de matéria seca numa pastagem de regadio com base em duas metodologias:

- (1) Um medidor de prato ascendente (MPA);
- (2) Índices de Vegetação (IV) obtidos por detecção remota.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1. Pastagens e Forragens**

Para Moreira (2002), as pastagens e forragens são um conjunto de culturas muito diversas, incluindo gramíneas e leguminosas, cuja produção serve para a alimentação de herbívoros domesticados, dos quais se destacam os ruminantes, com maior expressão nos bovinos, ovinos e caprinos.

#### **2.1.1. Importância das pastagens e forragens em Portugal, na Europa e no Mundo**

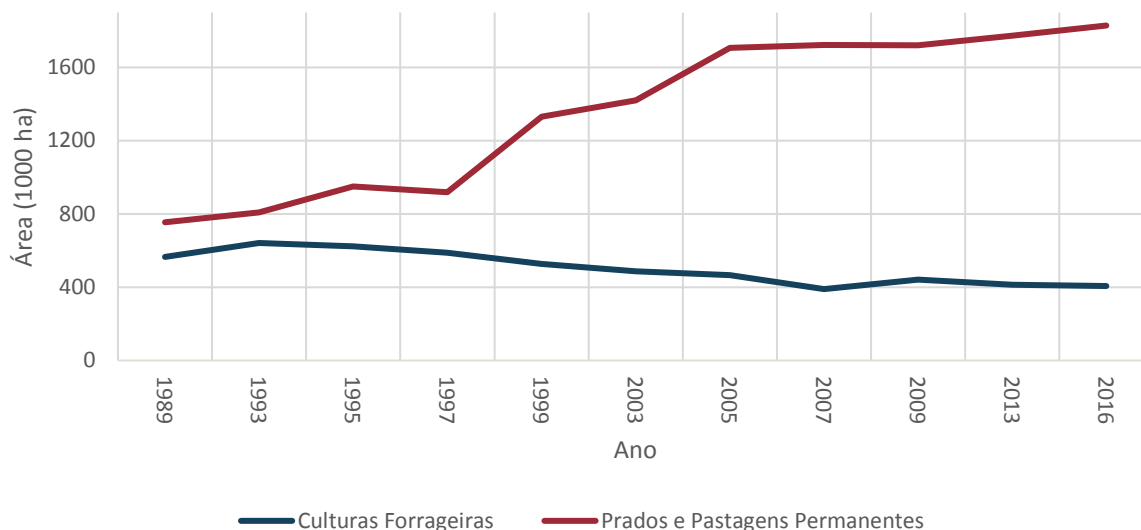
Apesar da importância das pastagens e forragens ser mais expressiva na alimentação animal, estas desempenham um importante papel a outros níveis, como a nível ambiental e ecológico, económico e social.

Do ponto de vista ambiental e ecológico, a melhoria de solos erodidos e pouco férteis pode ser combatida através da utilização de pastagens e forragens. Para Bert (2010), a mitigação da erosão do solo ocorre através da cobertura do solo nu e do desenvolvimento radicular. Segundo o mesmo autor, estima-se que na Europa as taxas de erosão médias sejam muito menores em áreas de pastagens do que em superfícies agrícolas. A instalação de pastagens, quando combinada com o pastoreio, pode desempenhar um importante papel no domínio da vegetação arbustiva e controlo de incêndios rurais (Moreira e Coelho 2008).

Por um lado, a nível económico, as pastagens e forragens reduzem a dependência de alimentos compostos, com preços muito voláteis e altamente dependentes do preço do petróleo (Crespo 2011). Por outro, a qualidade da carne e do leite obtidos através do pastoreio são de muito melhor qualidade comparativamente com animais produzidos sob outros sistemas (Crespo 2010).

Quanto ao aspecto social permitem, segundo Menezes de Sequeira (1997), a manutenção de empregos ligados às actividades agro-pecuárias em zonas rurais e interiores, muito afectadas pelas altas taxas de desemprego, combatendo assim o êxodo rural.

Em Portugal, de um total de cerca de 3,6 milhões de hectares da Superfície Agrícola Utilizada (SAU), 51,5% correspondem a pastagens permanentes (INE 2016). Entre os anos de 1989 e 2016, destaca-se um aumento significativo da área de prados e pastagens permanentes e uma diminuição da área ocupada por culturas forrageiras, como pode ser verificado na Figura 1.



**Figura 1 - Evolução da área de culturas forrageiras, prados e pastagens permanentes entre 1989 e 2016 (adaptado de GPP, 2017).**

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (2016), houve um aumento de 92 mil hectares, entre os anos de 2009 e 2016, na área ocupada por pastagens permanentes. As principais razões que levaram a este aumento foram a redução da área de pousio e da área de culturas arvenses (principalmente cereais), altamente motivadas por alterações significativas ao longo das reformas da Política Agrícola Comum (PAC). A globalização dos mercados também foi um factor de peso nesta alteração da ocupação do solo.

A redução e volatilidade do preço pago ao produtor, o aumento do preço dos factores de produção, foram os motores do aumento da área de pastagens permanentes por abandono da produção cerealífera (INE 2011). Para Crespo (2011), instalaram-se culturas arvenses em condições de solo e formas de o trabalhar manifestamente impróprias, de que resultaram baixas produções, degradando simultaneamente o capital solo e a biodiversidade antes presente.

Do ponto de vista político, a primeira reforma da PAC, com maior expressão na alteração do uso do solo, decorreu na reforma de 1992, em que segundo Moreira (2002) foram introduzidas algumas medidas agro-ambientais que visavam a extensificação da produção ou a manutenção de formas tradicionais de agricultura, consideradas “amigas do ambiente”. Mais tarde, na reforma de 2003, o desligamento das ajudas da produção e a aplicação do regime de pagamento único, também levaram a um aumento das superfícies de pastagens naturais de baixa produtividade, ou mesmo ao abandono de terras, que tenderam a ser invadidas por matos, com aumento do risco de incêndio (Crespo 2011).

Ao contrário da situação de Portugal, na Europa e no Mundo (Figura 2.) a área ocupada por este tipo de superfície tem vindo a diminuir no último século, por intensificação da actividade agrícola e pelo abandono de algumas áreas (Huyghe et al. 2014).

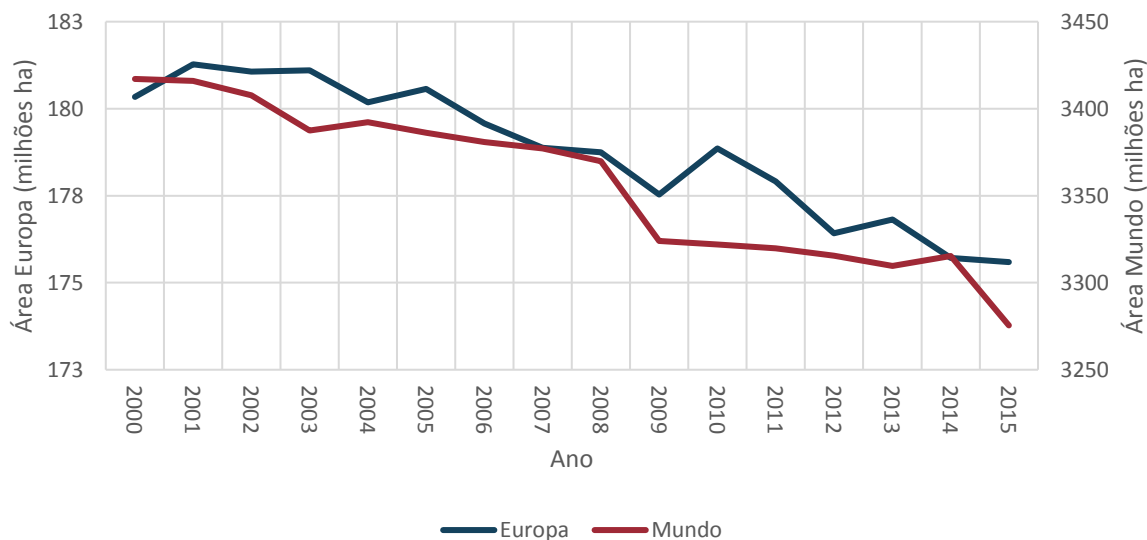


Figura 2 Evolução da área de pastagens permanentes entre 2000 e 2015 (FAO)

### 2.1.2. Produção de pastagens e forragens de sequeiro e de regadio

Não existe uma barreira rigorosa entre os conceitos de pastagens e forragens, existe sim uma realidade continua e de transição gradual entre os dois conceitos (Moreira 2002). Assim sendo, podem existir pastagens espontâneas que ao serem melhoradas, por intervenção do homem através da introdução de outras espécies ou correcções ao solo, se “convertem” em pastagens melhoradas; variações nas condições edafo-climáticas ou de gestão que permitam a conversão de uma cultura, usualmente de sequeiro, em regadio. Para o autor supracitado, é certo que existem espécies de uso múltiplo, que podem ser utilizadas como pastagem ou forragem ou utilizadas com anuais ou bienais.

Na prática, na grande maioria das explorações extensivas, a utilização de forragens surge como um complemento ou um substituto à utilização de pastagens. Assim sendo, as forragens surgem quando a qualidade/quantidade nutricional fornecida pela pastagem é insuficiente para colmatar as necessidades do gado, especialmente nos períodos mais secos do ano em que a produção de erva é nula ou muito reduzida. Por outro lado, se se optar pela intensificação do sistema, aumentando o encabeçamento, é natural que se tenha também que aumentar a dotação de forragens e alimentos compostos ao longo de todo o ciclo produtivo.



No entanto, segundo Crespo (1980), a produção em pastoreio permite uma maior eficiência energética e mais baixo custo por unidade de erva produzida. É ainda de salientar que uma unidade forrageira (UF) obtida por pastoreio directo, representa apenas 15 a 20 % da mesma UF obtida por alimentos concentrados e que a carne ou leite obtidos a partir da erva são de qualidade muito superior aos obtidos em sistemas com elevado consumo de concentrados (Crespo 2011). A nível da performance dos próprios animais, a fibra das pastagens e forragens desempenha um papel de relevo na regularização do processo digestivo dos herbívoros (Moreira 2002).

Para suprimir as necessidades dos animais em períodos de pouca produção de erva, sem recorrer ou reduzindo o consumo de alimentos exteriores à exploração (forragens e/ou alimentos compostos), podem ser instaladas, se as condições assim o permitirem, pastagens/forragens sob cobertura de um sistema de rega, de modo a aumentar a disponibilidade de alimento.

### **2.1.3. Crescimento e desenvolvimento de culturas herbáceas – Factores fisiológicos e edafo-climáticos**

Existem vários factores que influenciam o crescimento e desenvolvimento de plantas pratenses e forrageiras. Ao contrário das culturas cerealíferas, para alcançar a máxima produtividade em culturas pratenses/forrageiras, há que considerar um ponto de equilíbrio entre a quantidade de folhas removidas pelo pastoreio/corte mecânico e a quantidade de folhas que não são removidas e que mantêm a sua actividade fotossintética, com o objectivo de criar novos tecidos (Lemaire, Hodgson, e Chabbi 2011), permitindo a persistências das mesmas.

Para Moreira (2002) os factores fisiológicos, como a actividade fotossintética, a intersecção da radiação e o destino dos produtos assimilados, desempenham um importantíssimo papel na produção de biomassa. Já Murray, Yule e Gillingham (2007), dão especial importância a factores edafo-climáticos como é o caso da influência da precipitação, combinada com as características do solo, histórico de fertilização e topografia, na produção potencial e composição florística de pastagens e forragens.

#### **2.1.3.1. Factores Fisiológicos**

Para (Mannetje 2002) a fotossíntese é a força motriz do crescimento vegetal. No entanto a acumulação de MS não é resultado de um processo único, representa sim, o balanço líquido entre um vasto conjunto de processos. O desenvolvimento e a idade da folha, tal como a capacidade fotossintética da mesma têm muita influencia da produtividade da erva (Kolomeychenko 2005).

De entre os vários modelos de crescimento propostos pela comunidade científica, Pearson e Ison (1998) sugerem o seguinte:

$$G = \varepsilon I \left[ 1 - \exp^{(-KL)} \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

Com:

- $G$  taxa de crescimento (kg/ha/dia)
- $I$  radiação fotossinteticamente activa (MJ/ha)
- $\varepsilon$  eficiência fotossintética, em (kg/MJ)
- $1 - \exp^{(-KL)}$  estimativa da fracção da radiação interceptada pela canópia, sendo  $L$  o índice de área foliar (IAF) e o  $K$  o coeficiente de extinção

Este modelo expressa bem a importância do processo fotossintético no crescimento de plantas. Analisando a equação sugerida pelos autores, é de salientar o “peso” da eficiência fotoquímica com que a radiação interceptada é utilizada e as próprias características da canópia na intersecção de radiação (Moreira 2002).

Foram reconhecidas por Wit (1965) diferentes tipos de canópia, relacionando a orientação da folha na planta, categorizando as folhas horizontais de planófilas e as verticais de erectófilas (maioria das gramíneas). As folhas planófilas, analisadas individualmente, interceptam mais luz, quando comparadas com folhas erectófilas, no entanto, à medida que a planta se desenvolve o ensombramento horizontal vai aumentando, levando a que, em conjunto, as folhas erectófilas tenham maior taxa fotossintética do que as planófilas. A avaliação da orientação da folha pode ser feita através do coeficiente de extinção  $K$ , que representa a razão entre a projecção horizontal da área das folhas e essa mesma área, medindo assim o seu grau de inclinação/exposição (Moreira 2002).

Alguns estudos sobre pastagens, em pastoreio contínuo, mostram que a fotossíntese bruta da canópia e consequentemente, a acumulação bruta de MS estão positivamente correlacionadas com a área foliar (A. J. Parsons et al. 1983; Pearson e Ison 1998).

Por exemplo, para obter a interceptação total da radiação, o trevo branco (*Trifolium repens*) necessita de um IAF de 3-5 enquanto que o azevém perene (*Lolium perenne*) necessita de um IAF muito mais elevado de 7,1 (Mannetje 2002). Nas leguminosas de porte prostrado os valores de  $K$  estão compreendidos entre 0,7-0,9, enquanto que nas gramíneas (Figura 3) os valores estão próximos de 0,3 (Pearson e Ison 1998). Resumidamente, as gramíneas, que têm valores de  $K$  inferiores às leguminosas, necessitam de um IAF superior de modo a obter a interceptação total da radiação.

Coefficientes de extinção baixos durante a fase de emergência e crescimentos iniciais são penalizantes da boa instalação da pastagem, devido essencialmente, como referido anteriormente, à menor quantidade de radiação interceptada, que só é corrigida com uma maior densidade de sementeira destas espécies (Pearson e Ison 1998).

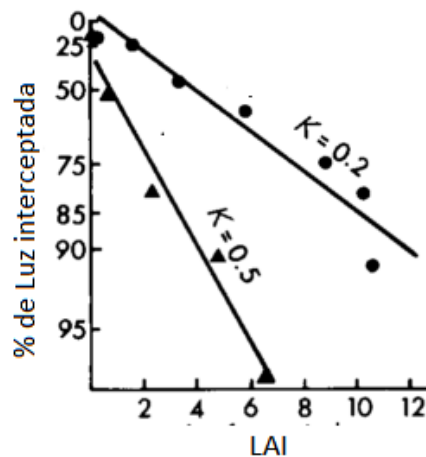


Figura 3 -Efeito da arquitectura da vegetação na interceptação de luz (adaptado de Pearson e Ison 1998).

### 2.1.3.2. Factores edafo-climáticos

Analisando os solos de Portugal temos que mais de 30% da área do país é ocupada por solos muito pobres, fisicamente caracterizados por pouca espessura efectiva e má drenagem. Quimicamente, cerca de 80% do território nacional é composto por solos de reacção ácida, com teores de fósforo assimiláveis igualmente baixos. Relativamente à matéria orgânica, é considerado que a Sul do Tejo, os níveis são baixos a muito baixos (0,5-1,5%). Assim sendo, podemos considerar que, de uma forma geral, Portugal é pobre na qualidade de solos para uso agrícola (Crespo 2015; Moreira 2002).

Através da análise dos solos podem-se chegar a algumas conclusões sobre a disponibilidade de nutrientes necessários ao crescimento vegetal, bem como a possibilidade de alcançar o potencial produtivo da cultura. Alguns dos parâmetros a ter em conta na análise dos solos são a fertilidade, o pH, a matéria orgânica e a capacidade de troca catiónica.

O pH está relacionado com a solubilidade e consequentemente com a biodisponibilidade dos vários nutrientes e a actividade de microrganismos do solo, como é o caso da relação simbiótica entre rizóbio e leguminosas. A matéria orgânica, funciona como agente estabilizador do solo, desempenhando importantes funções na retenção de água e nutrientes. Por fim, a capacidade de troca catiónica providencia informação sobre a capacidade de retenção do solo de nutrientes.

Relativamente a operações relacionadas com a fertilidade dos solos, Serrano et al. (2014) dizem que, os solos ao sul do Tejo não necessitam, no geral, de fertilização potássica (por imposição de características originárias da rocha mãe). Acrescentam ainda que a fertilização azotada não é igualmente uma prática comum, de modo a estimular a capacidade de fixação de azoto atmosférico das leguminosas. Posto isto, as operações de fertilização efectuadas com mais frequência são as de aplicações de fósforo. São ainda aplicados alguns correctivos, como calcários, de modo a corrigir a reacção maioritariamente ácida do solo.

Em termos climáticos, a temperatura e a precipitação funcionam como elementos determinantes e frequentemente limitantes da produção de pastagens e forragens, uma vez que a radiação não é, em Portugal, um factor limitante (Moreira 2002).

Relativamente ao factor temperatura, este tem maior ou menor impacto consoante o tipo de espécie pratense a que se refere. Moreira (2002) diz que a temperatura pode ser um factor limitante na divisão e alongamento celular, reflectindo um menor desenvolvimento foliar e redução da eficiência fotossintética. Para o mesmo autor, as baixas temperaturas podem também limitar o crescimento, uma vez que o zero vegetativo se encontra nos 5,5 °C. De salientar que gramíneas de regiões temperadas reduzem o seu crescimento a temperaturas inferiores a 8-10 °C.

No entanto, existem algumas espécies que requerem vernalização, ou seja, requerem um período mais ou menos longo expostas a baixas temperaturas para induzir o período reprodutivo (Moore, Donnelly e Freer , 1997).

A própria extratificação da canópia faz com que os efeitos vento e radiação se traduzam em diferentes temperaturas (Wit 1965), fazendo como que a produção fotossintética não seja toda idêntica em altura.

A disponibilidade hídrica no solo, requer, segundo Pearson e Ison (1998) a análise de alguns aspectos como a precipitação (quantidade e distribuição), a capacidade de retenção de água no solo (Figura 4) e as perdas de água (pelas plantas e pelo próprio solo). É dito pelo mesmo autor que há uma redução do crescimento quando a água disponível no solo desce abaixo dos 25%. Este efeito é potenciado em espécies com um sistema radicular reduzido, ou quando a camada explorável pelas raízes é relativamente curta (Lourenço 2018).

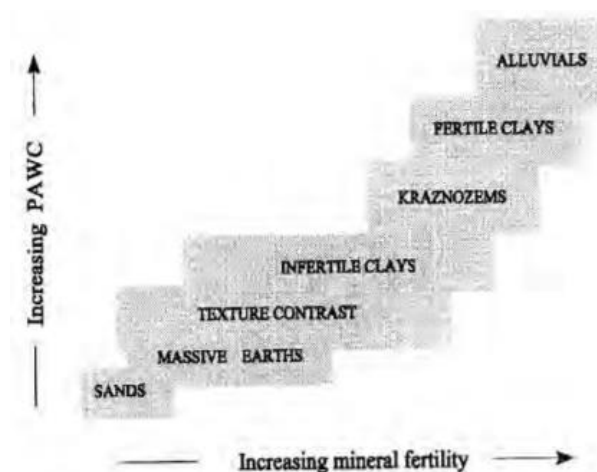


Figura 4 Influência do tipo de solo na capacidade de retenção de água (adaptado de Pearson e Ison (1998)).

Também a abertura estomática, para absorção de dióxido de carbono, está, segundo Gramshaw (1995), dependente da condição hídrica do solo, que suportará os processos de transpiração ou movimento de água na planta entre as folhas e a atmosfera.

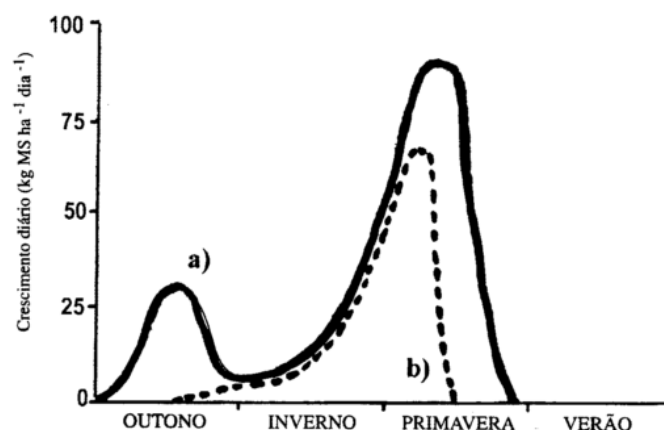
#### 2.1.4. Ciclo vegetativo das pastagens e forragens em clima mediterrâneo

Segundo os parâmetros de Köppen-Geiger, o sul de Portugal é classificado pela classe *Csa*, isto é, clima temperado com Verões caracterizados por serem quentes e sem eventos pluviométricos, e Invernos frios com elevadas pluviometrias, fazendo com que a distribuição de precipitação esteja apenas concentrada num curto espaço de tempo.

Assim sendo esta variação e conjugação dos factores temperatura e precipitação irão ter um grande peso na produção anual de erva, tanto a nível qualitativo como quantitativo.

##### 2.1.4.1. Curva de produção - Sequeiro

Analisando a curva do crescimento das pastagens e forragens de sequeiro em clima mediterrânico (Figura 5), observam-se claramente dois picos de produção de erva, sendo o primeiro no período Outonal e o segundo durante o Primavera, embora o crescimento diário/mensal seja significativamente mais baixo no primeiro período.



**Figura 5** Curva típica de crescimento de pastagens de sequeiro em clima mediterrânico. a) anos e/ou regiões de maior precipitação ; b) anos e/ou regiões mais secas (adaptado de Moreira (2002)).

Tanto para Efe Serrano (2006) como para Moreira (2002), a produção de matéria seca (MS) no Outono é mais baixa por se tratar do período em que se dá a germinação e o início do crescimento vegetativo. O maior desenvolvimento da cultura está altamente relacionado com o início das primeiras chuvas, havendo um intervalo de tempo de 25-30 dias entre os primeiros eventos pluviométricos e a primeira erva efectivamente disponível para pastoreio (Efe Serrano 2006). Já na Primavera, pelo facto de as plantas estarem num estado vegetativo e/ou reprodutivo mais avançado, perfeitamente enraizadas e afilhadas (no caso de algumas gramíneas) é visível um aumento da taxa de crescimento neste período. Existem ainda dois períodos intermédios entre estes dois picos de produção, onde a taxa de crescimento é muito reduzida ou mesmo nula, são eles o Inverno e o Verão. No caso do Inverno, a nível climático, as baixas temperaturas são o factor limitante para a quebra da taxa de crescimento da erva, no entanto o encurtamento do fotoperíodo, também a decresce. Já no Verão, os principais factores limitantes são as altas temperaturas e a reduzida disponibilidade hídrica.

Para Efe Serrano (2006) é ainda possível adaptar a curva de crescimento de erva à tipologia do ano quanto à precipitação. Em anos cujo Outono é húmido (precipitação >200 mm) e a Primavera igualmente húmida (precipitação >150 mm) o período de crescimento activo das plantas pode estender-se a cerca de 9 meses, originando uma maior produção de MS (na ordem de 3t MS/ha), quando comparada com um ano com Outono húmido e Primavera seca ( 2,1t MS/ha) com um bom início de crescimento mas com uma quebra da taxa abrupta na Primavera; ou Outono seco e Primavera húmida (1,9 t MS/ha) levando a dificuldades e atrasos na germinação de plantas anuais e início do crescimento de vivazes. Por fim, no pior cenário, um Outono seco e uma Primavera igualmente seca, com reduzida taxa de crescimento e em que o período de erva verde disponível não excede os 6-7 meses.

#### 2.1.4.2. Curva de produção – Regadio

Apesar da maioria da superfície ocupada por pastagens e forragens ser de sequeiro, a disponibilidade de água pode permitir a instalação das mesmas alterando o sistema de condução para regadio. Ao fazê-lo, poderá aumentar-se a disponibilidade de alimento, mitigando o efeito das variações intra-anuais da produção de erva de sequeiro, reduzindo ainda o risco associado à incerteza dos eventos pluviométricos.

A Figura 6 expressa a curva de crescimento de erva em regadio. Tal como no sequeiro, existem dois picos de produção, igualmente no Outono e Primavera, embora ligeiramente desfasados no tempo e com crescimentos muito superiores. Segundo Efe Serrano (2006), o efeito da rega estival permite mais que quadruplicar a produção de MS, sendo possível prever uma produção bruta de 12-16 t MS/ha/ano, variando em função do tipo de solo, espécies presentes, condução da rega, pastoreio e condições inverniais.

Esta curva caracteriza-se pela redução da taxa de crescimento pouco depois do início do Outono e até meados do Inverno, por redução da temperatura. Posteriormente, tende a aumentar, com os aumentos graduais da temperatura e do fotoperíodo, mais favoráveis a leguminosas e gramíneas, aumentando ainda a eficiência fisiológica na sua fase reprodutiva (Moreira 2002). O pico máximo de crescimento é atingido praticamente no fim da Primavera, havendo uma posterior redução do mesmo com o aumento das temperaturas no início do Verão. Esta fase coincide também com o fim da fase reprodutiva das gramíneas, levando a uma diminuição do crescimento diário, compensado ligeiramente pelo maior crescimento de leguminosas (Moreira 2002).



Figura 6 Curva típica de crescimento de pastagens de regadio em clima mediterrânico (adaptado de Moreira (2002)).

É ainda de salientar que com a introdução da rega se podem e devem fazer alterações às espécies instaladas, podendo optar por espécies melhor adaptadas ao regadio, tornando-as mais produtivas e com maior qualidade nutricional.

Neste tipo de pastagens, fazem dela parte espécies maioritariamente perenes, caracterizadas pelo seu desenvolvimento inicial lento, prevendo um grau de infestação, por espécies oportunistas, elevados. Para combater este fenómeno devem ser feitos cortes de limpeza, com elevadas cargas animais, ou fazer um corte mecânico (Freire 2011).

De salientar ainda que podem ser utilizadas espécies de uso múltiplo, que permitam o pastoreio directo e/ou corte mecânico.



## 2.2. Agricultura de precisão

### 2.2.1. Conceito

O conceito de agricultura de precisão (AP) é baseado num sistema de produção, de melhoria continua, em que, através de um vasto leque de ferramentas, se procura aumentar o rigor e conhecimento com que as operações culturais são praticadas (Braga e Pinto 2011). Para McBratney *et al.* (2005), a definição genérica de AP pode ser tomada como “o tipo de agricultura que aumenta o número de (correctas) decisões por unidade de área e por unidade de tempo com benefícios líquidos associados”.

Para Coelho e Silva (2009), o uso deste sistema de produção tem como objectivos principais o aumento do rendimento económico do agricultor e a redução do impacto ambiental da sua actividade. Relativamente ao primeiro, existem duas maneiras, distintas, mas complementares, de atingir tal objectivo, por via da redução dos custos dos factores de produção e/ou por via do aumento da produtividade e/ou qualidade.

Zhang, Wang e Wang (2002), citando Stafford (2000), afirmam que a existência de variabilidade espacial e temporal sempre foi (re)conhecida. Segundo os mesmos autores, antes do início da mecanização agrícola, os agricultores trabalhavam a uma escala muito reduzida, permitindo fazer todos os amanhos e granjeios de forma manual e individualizada. Era, portanto, muito mais fácil trabalhar diferenciadamente em função da variabilidade encontrada. Com a intensificação da mecanização, também a escala de trabalho aumentou (com uma redução significativa de mão de obra), dificultando assim a diferenciação das operações em função da variabilidade, e passando-se a trabalhar as parcelas como um todo. A AP vem permitir conciliar o aumento do rendimento do trabalho e a escala de operação e a consideração da variabilidade espacial das parcelas.

A AP permite ainda o aumento da eficiência e rendimento de muitas das operações, mecanizadas ou não, que se realizam no sector. Os acréscimos conseguidos estão muito relacionados com o aparecimento de novas tecnologias, tanto hardwares como softwares. Wal (2017) dividiu as tecnologias-chave, em quatro categorias, sendo que algumas serão aprofundadas em 2.2.2. Tecnologias:

- Navegação: GNSS (GPS, GALILEO, GLONASS);
- Sensores: Satélite, meteorológicos, solo, produtividade;
- Processamento de dados: algoritmos, bases de dado, alertas;

- Resposta: VRT, VRI, auto guiamento.

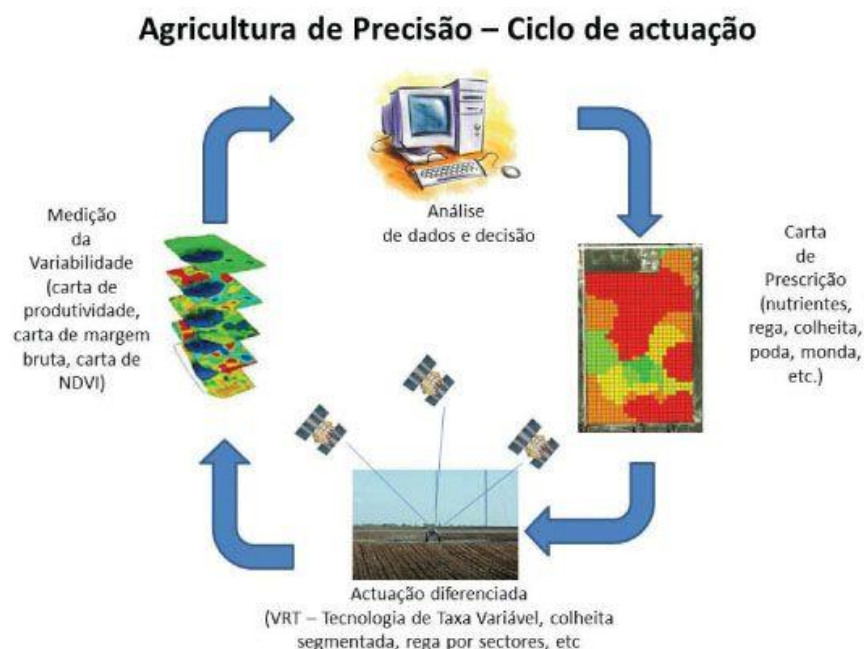
Por fim, torna-se imprescindível definir a estratégia do agricultor de modo a agilizar o processo de conversão do sistema de produção convencional para o sistema de produção em agricultura de precisão. Pode dividir-se, segundo Braga (2014), em quatro fases principais descritas abaixo e presentes na Figura 7:

1ª Fase - Avaliação da variabilidade espacial da cultura: em que através de diversos mecanismos e ferramentas (cartas NDVI, cartas de produtividade, etc.) se obtém informação sobre a variabilidade constante.

2ª Fase – Análise de dados e tomada de decisão: em que são tidas em conta todas as informações recolhidas na fase anterior, de modo a determinar as causas e a magnitude dessa variabilidade. É nesta fase que são validadas no campo todas as informações recolhidas.

3ª Fase – Actuação diferenciada: consoante a causa da variabilidade espacial são tomadas acções diferenciadas, por exemplo, ao nível da rega ou distribuição de correctivos e fertilizantes, fazendo muitas vezes uso da tecnologia VRT.

4ª Fase – Reinício do ciclo: em que são analisadas todas as medidas adoptadas anteriormente mantendo ou alterando a estratégia de actuação.



**Figura 7 Ciclo da agricultura de precisão .**

fonte: [www.agronegocios.eu](http://www.agronegocios.eu)

## 2.2.2. Tecnologias

### 2.2.2.1. Sistema de Posicionamento Global

A grande maioria dos sistemas de posicionamento agregados pelo Global National Satellite Systems (GNSS), hoje disponíveis para uso civil, foram desenvolvidos para uso militar. Entre eles estão sistemas como o Global Position System (GPS), GLONASS e GALILEU, respectivamente desenvolvidos pela, América, Rússia e Europa.

De entre os sistemas acima mencionados o que é mais frequentemente utilizado é o GPS. De um modo muito simplificado, a localização dada por este sistema é feita através do envio/recepção de sinais rádio, entre o aparelho receptor e a constelação de 24 satélites que está em órbita. É no aparelho receptor que são feitos os cálculos do intervalo de tempo entre o envio e a recepção do sinal rádio, e são precisos no mínimo, a recepção de sinal de 3 satélites para se saber a localização de um dado ponto, com uma precisão muito variável que pode ir dos 2 aos 10m.

Existem alguns factores que causam imprecisões no uso do GPS. Para aumentar precisão do mesmo surge o Real Time Kinematic (RTK) que funciona, simplificada, como um “corrector” do sinal proveniente dos satélites GPS que permite um aumento significativo da precisão, na ordem dos centímetros. O RTK é geralmente utilizado em operações cuja necessidade de rigor seja muito elevada, como é o caso de plantações, sachas ou sementeiras.

Da multiplicidade de utilizações e aplicações do GPS (Figura 8) destacam-se a localização e a navegação. Coelho e Silva (2009), afirma que devido às suas funcionalidades, o GPS está na base de quase todos os sistemas de AP, por permitir uma localização precisa de qualquer ponto de amostragem, referente a qualquer aspecto técnico, possibilitando a georreferenciação da variabilidade espaciotemporal.

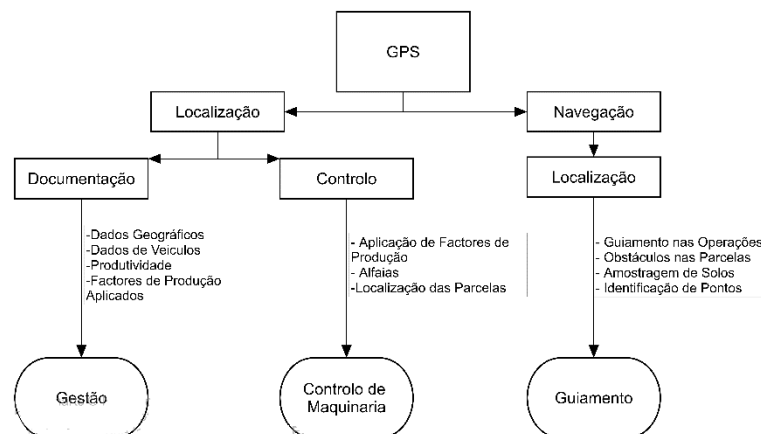


Figura 8 GPS na agricultura (adaptado de Auernhammer (2001)).

### 2.2.2.2. Sistema de Informação Geográfica

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), são sistemas que integram pessoas, hardware, software e dados geográficos, de modo a obter, gerir, manipular, analisar e expor todas as formas de informação georreferenciada (Parthasarathy 2010; Pierce e Nowak 1999). Para os mesmos autores, estes sistemas são capazes de desempenhar complexas funções analíticas, estatísticas e representá-los de forma visual, permitindo ao utilizador um aporte de informação na tomada de decisão. Estes sistemas permitem que, através dos dados recolhidos, o utilizador possa medir, em termos quantitativos e qualitativos, a variabilidade espacial ou temporal de dado(s) parâmetro(s).

O uso destas tecnologias tem interesse quando se juntam e relacionam várias camadas de informação (em formatos como csv, shapefile ou raster - Figura 9), tornando o uso desta tecnologia, não só num modo de visualizar espacialmente a informação, mas também, como uma ferramenta de análise, cálculo e apoio à decisão do gestor agrícola (Coelho et al. 2003).

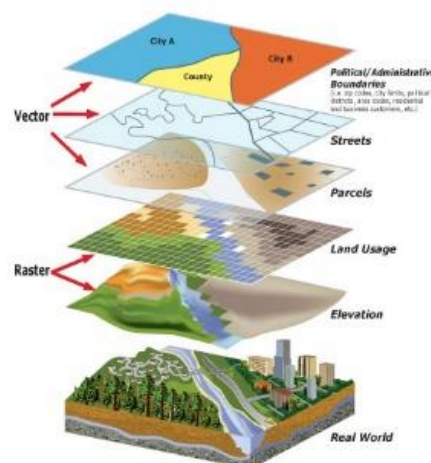
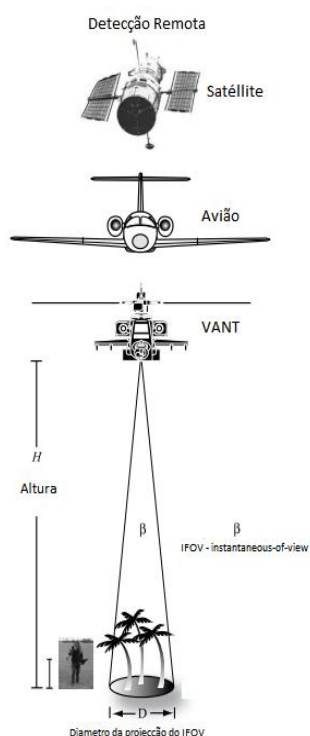


Figura 9 Diferentes tipos de camadas de informação de um SIG (adaptado de: <http://www.geologiveneto.it>).

### 2.2.2.3. Detecção Remota

Para Coelho et al. (2003) a detecção remota (DR), pode ser tomada como "o processo de recolha de informação de áreas e objectos sobre ou próximos da superfície terrestre, por um sensor de radiação electromagnética colocado acima da mesma superfície terrestre". A recolha de informação pode ser feita de inúmeras maneiras, sendo as mais comuns pela utilização de satélites, aviões ou VANT (Figura 10).



**Figura 10** Funcionamento simplificado da detecção remota, obtida por satélite, avião ou VANT, identificando a altura ao chão ( $H$ ) e o IFOV ( $\beta$ ) (adaptado de Jensen 2000).

Seguindo a linha condutora do panorama actual da agricultura, virada para a minimização dos impactos ambientais, e para os aumentos de produção e produtividade, no artigo de revisão de Atzberger (2013), são mencionadas algumas das infindáveis aplicações da DR, sendo elas a estimativa da produção de biomassa e produtividade, monitorização do stress hídrico e vigor vegetativo, estado fenológico de culturas, estimativa de áreas e mapeamento de alterações do uso do solo. A utilização desta tecnologia permite ainda ao agricultor monitorizar a cultura durante todo o ciclo produtivo, de uma forma económica e pouco dispendiosa em horas de trabalho.

Segundo Pierce e Nowak (1999) e Tristany (2010), podem considerar-se as seguintes componentes da resolução dos sensores:

- 1) Resolução espacial: em que se determina a largura da faixa de terreno captada em cada intervalo de tempo pelo sensor. Gerando uma matriz, na imagem digital, com uma malha maior ou menor que ditará a dimensão dos elementos visualizados (Figura 11).
- 2) Resolução espectral: dimensão e número de intervalos do Espectro Electromagnético. Gerando imagens digitais com agregação de todas as bandas (RGB e híper espectrais) ou a decomposição da imagem em bandas separadas.
- 3) Resolução temporal: período decorrente entre duas imagens sucessivas.
- 4) Resolução radiométrica: números de níveis radiométricos que o sensor consegue distinguir, ou seja, a quantidade de bits (n) com que a energia electromagnética é quantificada.

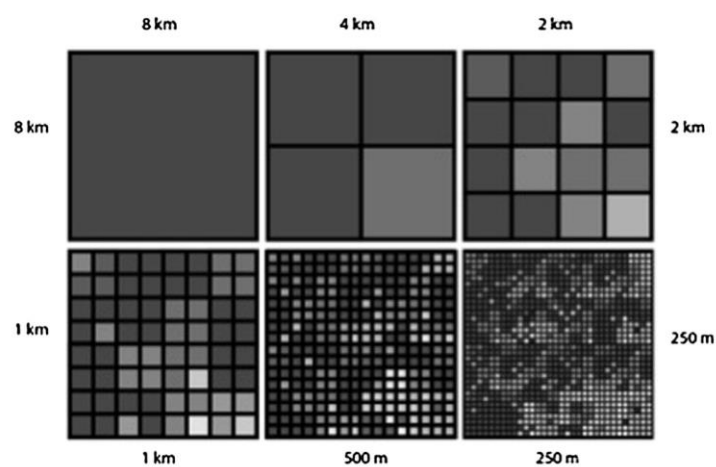


Figura 11 Efeito da variação da resolução espacial numa imagem digital (adaptado de Mountford et al. (2016)).

Geralmente, dentro do espectro electromagnético, as bandas usualmente utilizadas no estudo de vegetação são, dentro da região do visível o Azul (B), Verde (G), Vermelho (R); e na região do Infravermelho Próximo (NIR). No caso de uma folha saudável é de esperar que haja pouca reflexão nas bandas R e B, média na banda G e alta na banda NIR (Figura 12).

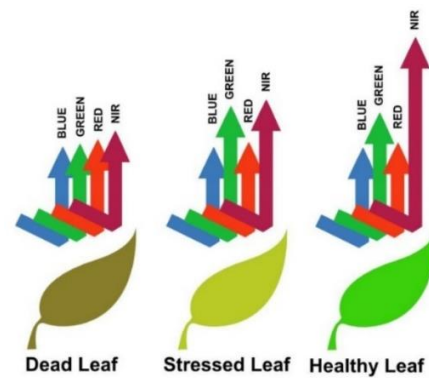


Figura 12 Comportamento da radiação da folha (fonte <http://www.agasyst.com>).

### 2.2.2.3.1. Índices de Vegetação

O desenvolvimento e funcionamento dos índices de vegetação estão intimamente relacionados com combinações de estruturas algébricas e a informação contida em bandas espectrais, obtidas por detecção remota (Jensen 2000). O produto desta combinação pode traduzir-se em valiosa informação, destacando a informação sobre a arquitectura da vegetação, a capacidade fotossintética, e a arquitectura e fisiologia das canópias/folhas.

No entanto, para o autor supracitado, um bom índice de vegetação deveria ser menos sensível a agentes influenciadores da reflectância, como por exemplo, as propriedades do solo, as condições atmosféricas ou a iluminação solar.

A grande vantagem deste índice é a possibilidade de monitorização da variabilidade inter e intra-anual da cultura. De entre os mais de 150 índices de vegetação presentes na diversa literatura (Yengoh et al. 2014), apenas alguns têm sido estudados mais aprofundadamente.

#### NDVI

Um dos índices mais utilizados actualmente é o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), presente na Eq. 2.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (\text{Eq. 2})$$

Para Yengoh et al. (2014) a utilização deste índice tira partido do facto da vegetação reflectir menos radiação do espectro do visível e mais no infravermelho próximo (NIR), assumindo valores compreendidos entre -1 e 1 (sendo que valores abaixo de zero não correspondem a áreas com vegetação). Uma das vantagens do NDVI, apontadas por Jensen, Xue e Su (2000 e 2017) é a resposta que o índice dá mesmo quando a percentagem de cobertura do solo com vegetação é baixa.

No entanto, este índice apresenta algumas limitações, sendo elas:

- A saturação do índice, durante alturas específicas em que o LAI se encontra em valores máximos (Wang et al. 2005), quase que “inutilizando” o índice durante este período.
- Sensibilidade aos efeitos de brilho e cor do solo, condições atmosféricas (nebulosidade e efeito de sombra causada pelo mesmo efeito) e ensombramento da canópias (Xue e Su 2017).

## **EVI**

O Enhanced Vegetation Index (EVI), é baseado no NDVI corrigido. Mantem a utilização das bandas NIR e R, introduzindo a banda B, para correcção de efeitos atmosféricos. Foram também introduzidos os coeficientes C1, C2 e L, determinados de forma empírica e com os respectivos valores de 6.0, 7.5 e 1 (Eq. 3).

$$EVI = 2,5 * \left( \frac{NIR-R}{NIR+C1*R-C2*B+L} \right) \quad (Eq. 3)$$

Este índice permite reduzir o efeito de saturação, quando os valores de biomassa se encontram elevados (Lourenço 2018).

## **SAVI**

Para contrariar o efeito solo associado ao NDVI, foi desenvolvida uma correcção ao mesmo, através da introdução de uma constante  $L = 0,5$ . Surge então o Soil-adjusted vegetation index (Eq. 4), tendo o intuito de minimizar o efeito das variações de brilho dos solos e descartando a necessidade de calibração do índice para diferentes tipos de solo (Huete 1988; Qi et al. 1994).

$$SAVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R+L)} * (1 + L) \quad (Eq. 4)$$

### **2.2.3. Amostragem e Interpolação de Parâmetros de Variabilidade Espacial**

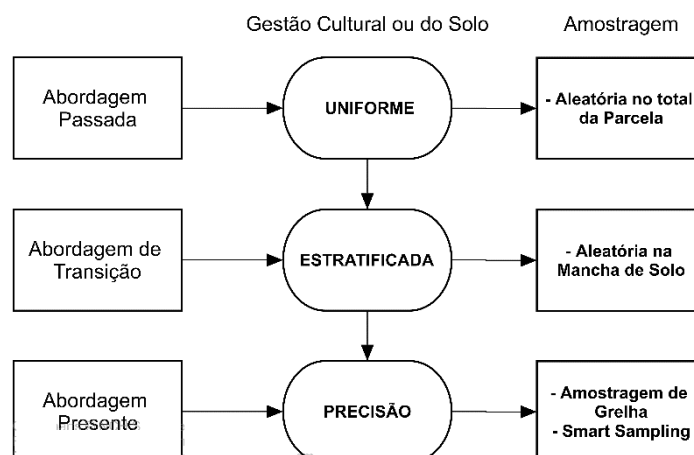
Como já foi referido, Portugal tem, no geral, solos pobres, nos quais existe uma variabilidade espacial enorme (Crespo 2015). Esta variabilidade, como algumas outras (fertilidade, produtividade, entre outros), carece de medição e georreferenciação. Estas podem ser feitas através de processos combinados de amostragem e interpolação, usufruindo de equipamentos e metodologias de maior ou menor complexidade e grau tecnológico.

Para Adamchuk et al. (2004), um dos aspectos mais importantes da amostragem de solos é definir a sua aquisição com uma densidade de amostragem correcta, à profundidade correcta e no tempo correcto. A estes aspectos deve ainda adicionar-se o factor custo-benefício, relacionando o custo da amostragem e análise com a fiabilidade da informação obtida, tal como o resultado prático que dela advém.

No trabalho publicado em 1998 por Rossel e McBratney, foram apresentados três esquemas de amostragem diferentes, baseados na intensidade de gestão que é feita (Figura 13). De salientar que estes tipos de amostragem não se aplicam somente aos parâmetros solo, podem também ser



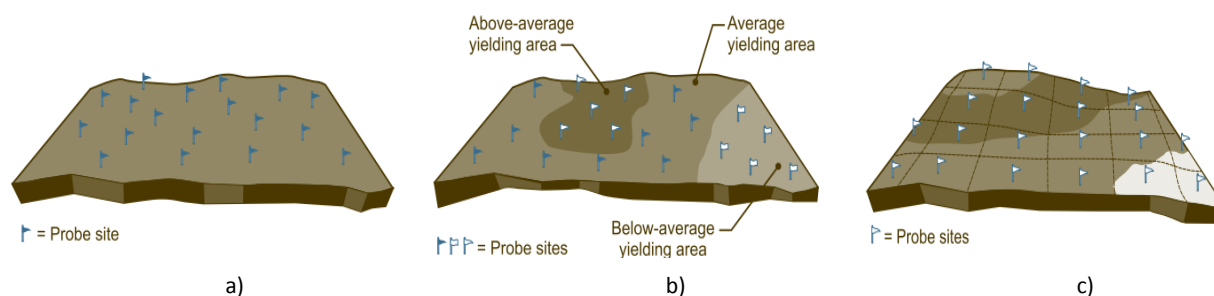
utilizados para a obtenção de informação de outros parâmetros, como humidade do grão, produtividade, estado fenológicos, entre outros.



**Figura 13** Esquemas de amostragem, uniforme, estratificado e de precisão. (adaptado de Rossel e McBratney 1998)

O tipo de amostragem mais comum, segundo Rochette e Bertrand (2008), é a amostragem aleatória (Figura 14a) ou por critério próprio (em que o executor faz a amostragem baseado em critérios, mais ou menos fiáveis). Para os mesmos autores, este tipo de amostragem é a antítese da amostragem científica, não havendo um critério de amostragem robusto, capaz de produzir resultados de interesse face à variabilidade espacial (excepto se esta for garantidamente muito reduzida). É, no entanto, um tipo de amostragem que requer poucas amostras por unidade espacial e pouco dispendioso monetária e temporalmente.

Havendo conhecimento sobre mais do que um elemento causador de variabilidade espacial, torna-se possível criar, dentro da parcela, zonas de menor dimensão onde se faz uma amostragem estratificada (Figura 14b). No trabalho de Rossel e McBratney (1998), são citados Francis e Schepers (1997) que sugerem a selecção de áreas de amostragem baseada em conceitos de cor do solo, textura, declive e factores culturais anteriores como a produtividade (mesmo que estimada visualmente).



**Figura 14** a) Amostragem aleatória; b) amostragem estratificada; c) amostragem por grelha (adaptado de AOPA (sem data)).

Existem ainda esquemas de amostragem, mais rigorosos e sofisticados, que exigem a utilização de mais conhecimento agronómico e tecnologia. Segundo Wollenhaupt e Crawford (1997), os métodos de amostragem apresentados previamente sugerem que pouco ou muito pouco é conhecido sobre as parcelas, tornando-se importante obter informação preliminar sobre as mesmas de modo a obter uma amostragem mais fidedigna.

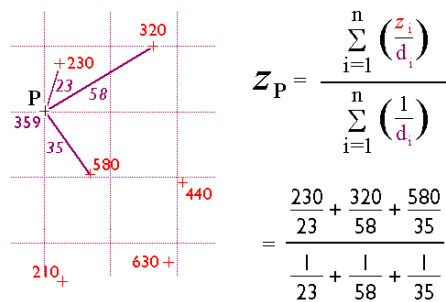
A Amostragem por grelha: (Figura 14c), em inglês *grid*, envolve a amostragem sistemática de pontos previamente definidos na parcela (Adamchuk et al. 2004). Este é o método mais intensivo e dispendioso, e que é capaz de produzir mais e melhor informação face aos métodos apresentados anteriormente. O número de amostras vai variar em função da dimensão da malha que é predefinida.

Outro exemplo de metodologia é a amostragem “on-the-go”, que permite através do uso de sensores, o varrimento da parcela, ganhando vantagem sobre outros métodos, por se conseguir uma intensidade de amostragem muito alta a um custo muito reduzido quando comparado com a amostragem manual. Neste tipo de amostragem engloba-se o levantamento da electro condutividade aparente do solo, capaz de obter dados correlacionados com a textura, salinidade, matéria orgânica entre outros atributos do solo (Adamchuk et al. 2004).

Posteriormente a qualquer amostragem, que gera informação para um dado ponto, é necessário, interpolá-los, ou seja, é de extrema importância a obtenção de informação para um dado atributo, numa zona que não foi amostrada. Para tal faz-se uso de algoritmos geoestatísticos.

Na grande maioria dos algoritmos geoestatísticos, é dada especial importância ao conceito de dependência espacial, assumindo que o valor de uma dada propriedade, em dado ponto, é função do valor da mesma propriedade nos locais próximos. A descrição desta dependência espacial pode ser feita através de um semivariograma, que descreve esta dependência, como função da distância de separação e direcção das mesmas (Rochette e Bertrand 2008; Wollenhaupt e Crawford 1997)

Uma das técnicas de interpolação extensamente utilizada é o Inverse Distance Weighting (IDW), baseado no princípio de que para prever uma variável, num local não medido, utilizam-se os valores das variáveis “vizinhas” conhecidos, sendo que a sua proximidade relativa influenciará o peso que esta terá no valor do parâmetro estimado (Figura 15). Este processo é feito através de médias ponderadas entre as distâncias dos diferentes pontos. A grande vantagem desta técnica é não requerer modelação ou estimação de valores, sendo no entanto sensível a amostragens com pontos muito próximos entre si (Wollenhaupt e Crawford 1997).



**Figura 15 Explicação simplificada IDW (fonte: [www.e-education.psu.edu](http://www.e-education.psu.edu)).**

Outro método comumente utilizado é o Kriging, em português Krigagem, que tal como no IDW, utiliza o peso da distância entre variáveis para a estimação de valores. Este peso é calculado de um modo estatístico, contrariamente ao IDW, que utiliza funções lineares mais simples (Wollenhaupt e Crawford 1997). Para os mesmos autores, o uso do semivariograma na técnica do Kriging, ao utilizar dados concretos para obter e descrever as relações espaciais entre amostras, pode auferir mais valor face ao IDW, que especifica estas relações arbitrariamente. A estes factos, soma-se o valor adicionado do Kriging derivar de um modelo estatístico capaz de estimar erros de predição, permitindo assim associar alguma medida de incerteza no vaticínio.

A utilização de métodos geoestatísticos associados a tecnologias como o GPS e SIG, permitiram que através do cruzamento de imagens de detecção remota com outras camadas de informação (carta de produtividade, topografia, entre outros), seja possível criar, objectivamente, zonas de gestão diferenciadas dentro da mesma parcela. Tais zonas de gestão, podem ser definidas, segundo Schellberg et al. (2008), como partes de uma parcela que expressam a combinação homogénea de factores limitantes da produtividade, onde a aplicação de qualquer factor de produção, ou qualquer técnica de gestão pode ser feita de modo idêntico. Exemplificando, torna-se possível através da análise do histórico de imagens de satélite, identificar, através de algoritmos geoestatísticos, zonas estatisticamente uniformes e consistentes relativamente a um ou mais atributos.

#### **2.2.4. Aplicação às pastagens e forragens**

Como já foi referido, existem inúmeras ferramentas e serviços disponíveis, de mais ou menos fácil acesso que estão ao disponíveis ao agricultor. No entanto, para Schellberg et al. (2008), a maioria do trabalho de investigação e desenvolvimento tecnológico tem vindo a ser traçado no âmbito das culturas arvenses, deixando, as pastagens e forragens para trás. Para o mesmo autor, este facto pode prender-se com o maior retorno económico (directo) das culturas arvenses face às pastagens, isto porque as culturas pratenses apresentam um baixo valor económico e uma margem muito esmagada, inviabilizando o pagamento de algumas tecnologias.

No entanto, existem já algumas tecnologias com custos reduzidos, que podem ser utilizadas para a monitorização e medição de alguns parâmetros estruturantes da variabilidade espaciotemporal. Alguns destes parâmetros são, o vigor da vegetação, características do solo, produtividade ou a aplicação de factores de produção utilizando tecnologia de taxa variável.

Um exemplo de uma tecnologia muito comum é o uso de imagens de satélite multiespectrais, como é o caso do Sentinel 2 A, lançado pela Agência Espacial Europeia em 2015, que permite a obtenção de imagens gratuitas com uma resolução espacial de 10 metros, nas bandas do visível (RGB) e infravermelho próximo (NIR), e uma resolução temporal de 10 dias. A utilização deste satélite permite ainda, em condições favoráveis (baixa nebulosidade), obter informações sobre o tipo de vegetação instalado, quantidade da biomassa ou a qualidade nutricional da pastagem (Pearson e Ison 1998; Pullanagari et al. 2012; Schellberg et al. 2008).

No caso dos cereais, quando colhidos por ceifeiras munidas de monitores de produtividade, existe a hipótese da obtenção de informação da produtividade em tempo real e georreferenciada, permitindo a criação de mapas que identifiquem variáveis que possam estar a gerar variabilidade espacial da produtividade (Coelho e Marques da Silva 2009). Para Penteado (2014), os dados gerados por este tipo de monitor depois de trabalhados em SIG, servirão de auxílio à utilização de VRT nas operações culturais seguintes, com o objectivo de gerir ao máximo a variabilidade espacial.

A medição da produtividade, numa cultura forrageira é feita de modo diferenciado de uma pratense. Numa forragem, por ser geralmente cortada mecanicamente, já existem alguns equipamentos que, segundo o trabalho de Schellberg et al. (2008), permitem a monitorização aquando da colheita (directamente, através de sensores de fluxo de massa) ou através de balanças nas enfardadeiras ou reboques de carga. No entanto, estes equipamentos carecem de calibração consoante a cultura forrageira.

Relativamente à medição e estimativa da produtividade num prado, esta apresenta uma grande dificuldade e simultaneamente uma grande importância, tornando indispensável o uso de métodos rápidos e precisos. A grande importância na medição deste parâmetro está relacionada com a qualidade e persistência da pastagem, adequando encabeçamento e duração do pastoreio à quantidade de erva disponível, aspecto este que terá, certamente, influência na performance do produtor.

Segundo Bransby et al. (1977) e Haydock e Shaw (1975), a utilização de métodos directos, com o corte de biomassa “in situ”, é o método mais fiável de obtenção da produtividade. No entanto, é temporal e monetariamente dispendioso, destrutivo e muito limitado na qualidade da estimativa, dada a grande variabilidade da população (por ex. espécies pratenses e forrageiras, estados de desenvolvimento ou arquitectura da vegetação). Esta variabilidade intrínseca das parcelas é ainda potenciada pela variabilidade causada pelo pastoreio. Já em 1975, Haydock e Shaw mencionam técnicas de estimação da produtividade através da medição de alguns atributos correlacionados com a produtividade – técnicas indirectas. No entanto a precisão associada a estas técnicas pode ser posta em causa por razões relacionadas com o próprio operador ou aspectos ambientais (Bransby et al. 1977). Uma destas técnicas é a utilização do Medidor de prato ascendente (MPA), que irá ser objecto de estudo nesta dissertação.

Além do uso de AP na componente vegetal, esta pode estender-se à parte animal, criando uma outra disciplina chamada de Pecuária de Precisão. Nos trabalhos de Schellberg et al.(2008) e Trotter (2009), são mencionadas algumas tecnologias associadas a esta disciplina, como é o caso da utilização de dispositivos GNSS de modo a rastrear os movimentos dos animais, “loggers” que registam os movimentos ruminais de modo a criar padrões de actividade, ou a utilização de cercas virtuais para auxílio da gestão do pastoreio.

## 2.3. Medidor de prato ascendente (MPA)

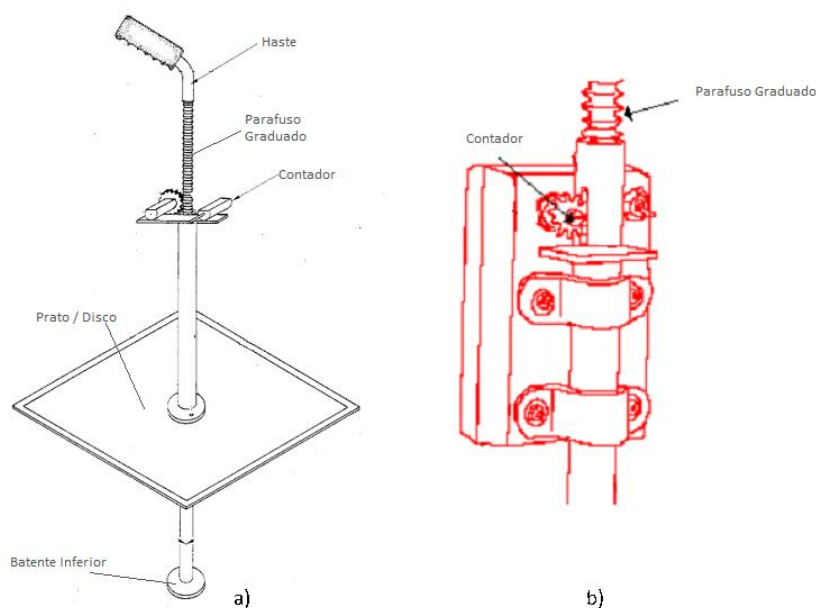
O Medidor de Prato Ascendente (MPA), em Inglês *Rising Plate Meter (RPM)*, é um medidor que utiliza os parâmetros altura e densidade da vegetação para estimar a MS. Este instrumento é, constituído por:

- Prato ou Disco: geralmente de formato redondo (pontualmente quadrado/rectangular), podendo ser de alumínio ou de plástico rígido, com peso específico calibrado por via experimental.

- Haste com parafuso graduado – onde o prato percorre parafuso, Figura 16a), geralmente com um curso total de 25cm, sendo que em espécies forrageiras tropicais é comum utilizar uma haste com parafuso de maior curso. Os intervalos de contagem, “clicks”, são de 0,5 cm. Exemplificando, 5 “clicks” correspondem a 2,5cm de altura de vegetação comprimida.

- Contador ou potenciômetro: que determinará o número de “clicks” no curso do parafuso graduado. Este contador pode ser mecânico (Figura 16b) ou digital.

- Data Logger: Opcional, que registrará os dados obtidos pelo contador, podendo estar conectado a um dispositivo de GPS.



**Figura 16 a) Constituição básica de um MPA; b) funcionamento do contador (adaptado respectivamente de Earle e McGowan (1979) e <http://jenquip.co.nz>).**

A base do funcionamento deste equipamento está relacionada com o movimento do prato entre o ponto zero (batente inferior da haste) e o máximo do curso do parafuso (25cm). É a partir do número de “clicks” do parafuso que se extrai a altura entre o prato, que comprime a vegetação, e o chão.

A principal função do prato é comprimir o material vegetal que se encontra abaixo do mesmo, medindo a sua densidade, enquanto que a haste terá a função de medir a altura a que o prato se encontra relativamente ao chão. Assim sendo, pastagens mais esparsas originarão uma leitura de menor valor, quando comparadas com uma pastagem da mesma altura, mas mais densa. No caso de duas pastagens com densidades idênticas, a que tiver maior altura originará uma leitura maior (Macadam e Hunt 2015). Earle e McGowan (1979), destacam ainda que a relação quantitativa entre a altura do prato e a produtividade será afectada pelo peso do prato.

O registo das alturas obtidas pelo prato, pode ser feito por: i) modo manual, nos MPA de menor custo e básicos, implicando um registo escrito e aumentando o tempo da amostragem; ii) “*Data Logger*” onde os registos ficam guardados neste dispositivo, sendo possível descarrega-los no fim do trabalho; iii) Aplicação móvel e GPS, como é o caso do equipamento objecto de estudo desta dissertação, havendo uma conexão por Bluetooth entre o sensor e um dispositivo móvel, no qual está instalada a aplicação que faz o registo dos dados recolhidos e georreferencia cada ponto.

Os dados que se obtêm com este sensor são os registos das alturas, cujo interesse prático é muito reduzido. Torna-se, portanto, importante converter e calibrar a altura e a MS. Este processo é feito em três fases: i) Corte de material vegetal no local onde foi amostrada a altura; ii) Secagem do material vegetal para obtenção da MS; iii) Regressão, geralmente linear, entre MS obtida e altura medida pelo prato, de modo a obter-se uma equação do tipo  $Y = a + b H$ , com  $Y = \text{KgMS/ha}$  e  $H = \text{altura em milímetros ou centímetros}$ .

O MPA tem sido utilizado mais frequentemente em pastagens/forragens compostas por Azevém Perene (*Lolium perenne*) e Trevo Branco (*Trifolium repens*) (Michell e Large 1983; Piggot 1986), nas respectivas proporções de mais de 60% e menos de 20%, sem pastoreio no mês anterior aos ensaios (Earle e McGowan 1979). Bransby et al. (1977) relatam também bons resultados na estimativa da produtividade com o MPA em forragens estromes de Festuca Alta (*Festuca arundinacea Schreb*)

Este é um método muito simples, apresentado, no entanto alguns constrangimentos no seu uso. No artigo de revisão de Carvalho et al. (2008) são enumerados alguns, sendo eles: a obtenção de melhores resultados em pastagens/forragens com um crescimento uniforme e denso; obtenção de melhores resultados em pastagens estromes; maior eficiência em vegetação de porte médio a baixo com colmos macios. Outra dos grandes constrangimentos é a necessidade de calibração do equipamento nas diferentes fases de do ciclo produtivo.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Localização da Parcela

A parcela em estudo localiza-se na Herdade da Abegoaria, freguesia de Canha, no Concelho do Montijo, com o seu centroide na latitude 38°43'51.60"N e longitude 8°31'45.12"W.

De entre os 2000 ha, a principal atividade económica está relacionada com a exploração florestal, havendo, no entanto, um complemento com a actividade agro-pecuária, que se traduz em rendimento adicional. Dentro da exploração dos recursos florestais destacam-se i) o montado de sobro, cujos produtos de interesse económico são primeiramente a cortiça e posteriormente as pastagens e os seus serviços no ecossistema; ii) Exploração de pinheiro manso, com o pinhão para consumo humano considerado o principal produto de interesse económico; iii) Exploração de eucalipto para produção de pasta.

Relativamente à área de pastagens, esta exploração tem mais de 1700 ha de pastagens espontâneas, maioritariamente em sob coberto de sobro e pinho manso, 100 ha de pastagens melhoradas e cerca de 120 ha de culturas forrageiras anuais, de entre as quais 35 ha são de regadio por rampa pivotante. É em aproximadamente 14 ha da área de regadio que se encontra a parcela a ensaiar, delimitada na Figura 17.



Figura 17 Parcela de 14 ha em estudo à escala 1:7000 (fonte: Google).

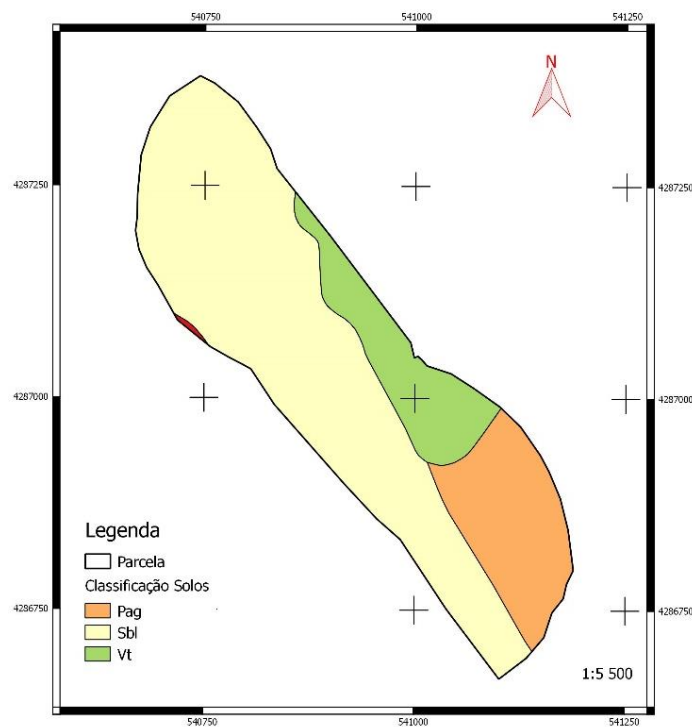


Esta parcela é constituída por duas rampas pivotantes sectoriais (180º) com 4 torres e um comprimento total da rampa de 200m. Na Figura 17, destacam-se ainda, à data da imagem, manchas de cores diferentes, fazendo prever a existência de grande variabilidade espacial.

## 3.2. Caracterização Edafo-Climática

### 3.2.1. Caracterização Edáfica

Na parcela em estudo, utilizando as carta de solos de Portugal baseada na classificação SROA, destacam-se três famílias de solo (Figura 18), que segundo Cardoso (1965) se caracterizam por: i) Solos Mediterrâneos Pardos Para-Hidromórficos de arenitos ou conglomerados argilosos (Pag), ocupando a uma área de 3ha (≈19%) ; ii) Solos de Baixas, de textura ligeira, sem carbonatos (Sbl), 9 ha (≈67%); Solos litólicos não Húmicos, pouco insaturados de outros arenitos (Vt) 2ha (≈14%).

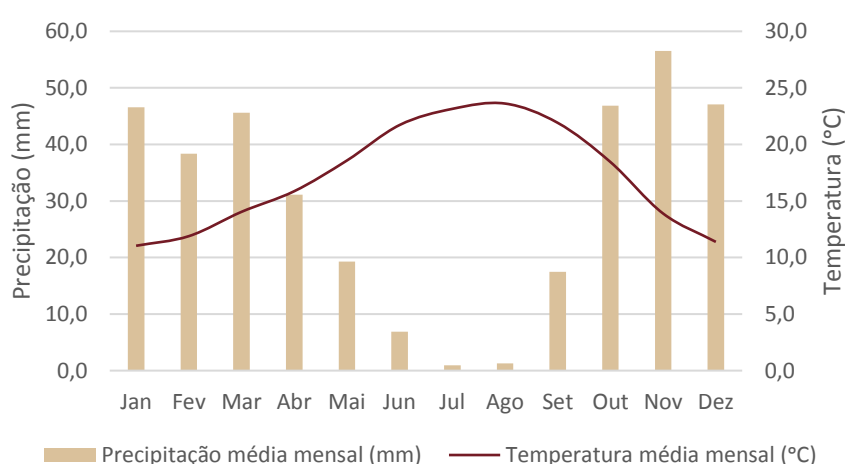


**Figura 18 Carta de Solos (Pag; Sbl; Vt) - (fonte SROA).**

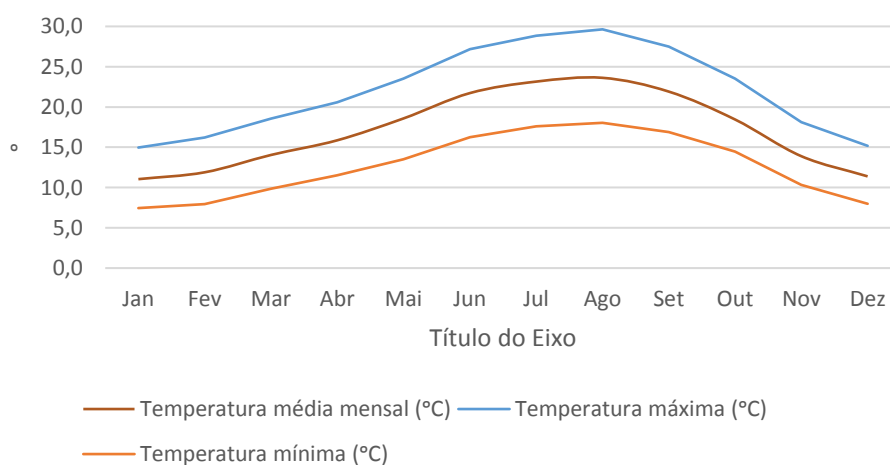
### 3.2.2. Caracterização Climática

Na realização da caracterização climática da parcela em questão foram utilizados os dados climáticos recolhidos através da *Nacional Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), referentes ao intervalo de tempo entre os anos de 1998 e 2018. A estação meteorológica através da qual foram obtidos os dados, foi a do Montijo, por tratar-se da estação mais próxima da parcela e por, não apresentar falhas relevantes na aquisição de dados.

Na Figura 19 está presente o diagrama ombrotérmico de Gaussen, elaborado através da precipitação e temperatura média mensal para a série de 20 anos em questão. No gráfico da Figura 20 estão expressas as temperaturas máximas, médias e mínimas para a mesma série temporal.



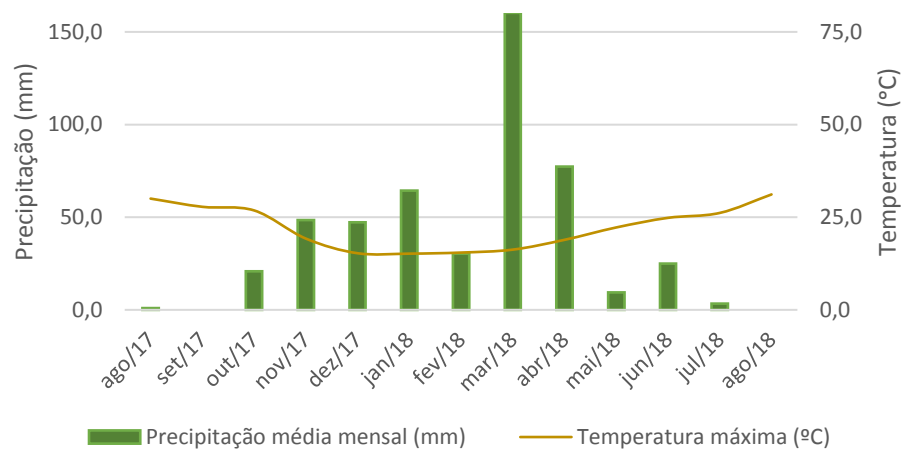
**Figura 19 Diagrama ombrotérmico de Gaussen dos dados históricos para a estação do Montijo (1998-2018) (fonte: NOAA).**



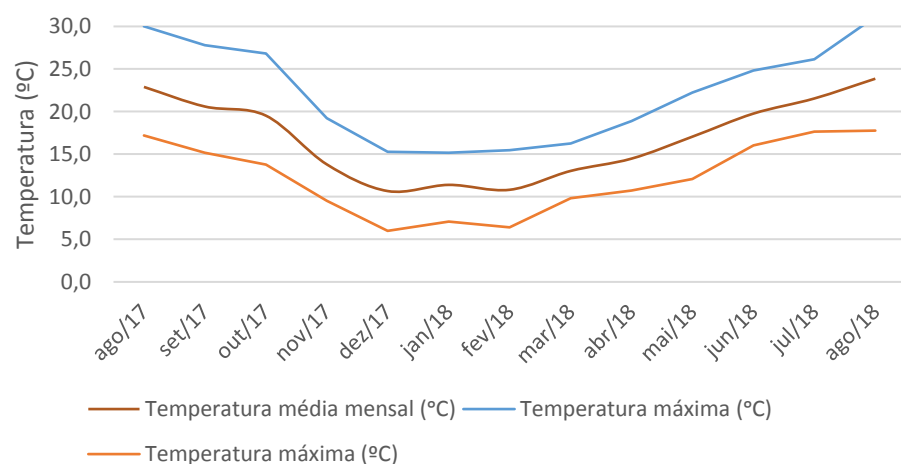
**Figura 20 Temperaturas mínimas, médias e máximas dos dados históricos para a estação do Montijo (1998-2018) (fonte: NOAA).**

Neste estudo foram, ainda, tidos em conta os anos civis de 2017 e 2018, de modo a cobrir o intervalo temporal entre a sementeira e o presente. Analisando a Figura 21 são de salientar dois aspectos: i) Precipitação muito reduzida na fase inicial de desenvolvimento e crescimento da cultura (Setembro com precipitação nula e Outubro com 48,5 mm); ii) ocorrência de precipitações anormais face ao histórico temporal acima analisado, 160,3 mm em Março de 2018 contra 45,6 mm do histórico para o mesmo mês.

O gráfico das temperaturas máximas, médias e mínimas, referentes aos anos de 2017 e 2018, estão presentes na Figura 22.



**Figura 21** Diagrama ombrotérmico de Gaussen nos anos 2017 e 2018 para a estação do Montijo (fonte: NOAA).



**Figura 22** Temperaturas mínimas, médias e máximas nos anos 2017 e 2018 para a estação do Montijo (fonte: NOAA)

### 3.3. Itinerário Cultural

No Quadro 1 estão expressas todas as operações que foram feitas na parcela em estudo, tal como os factores de produção associados a cada uma delas. Já o Quadro 2 indica as espécies que compõem a mistura “Speedmix”, adaptado a solos pobres de textura arenosa.

**Quadro 1 Calendário de operações e factores de produção aplicados (fonte: proprietário).**

Operações	Data Operação
Gradagem	18/09/2017
Adubação fundo	20/09/2017
Rototerra + Sementeira	21/09/2017
Adubação cobertura	-
Factores	Unidades Kg/ha
Semente	35
Adubo Fundo DAP	110
Adubo Fundo KCL	90

**Quadro 2 Composição da mistura comercial “Speedmix” (fonte: Fertiprado).**

Espécies Leguminosas	Espécies Gramíneas
Trevo da Pérsia - <i>Trifolium resupinatum</i>	Azevém Perene - <i>Lolium multiflorum</i> :
Trevo Vesiculoso - <i>Trifolium vesiculosum</i>	- <i>Westerwoldicum</i> tetraploide (4n)
Serradela - <i>Ornithopus sativus</i>	- <i>Westerwoldicum</i> diploide (2n)
Trevo Encarnado - <i>Trifolium incarnatum</i>	

### 3.4. Delineamento experimental e determinações efectuadas

Neste trabalho foi delineado um ensaio com o intuito de cumprir os objectivos propostos em 1.1., e que se encontra esquematizado na Figura 23, e aprofundado em 3.4.1. Amostragens de Campo e Detecção Remota e 3.4.2. Manuseamento e Tratamento dos Dados de Campo e Detecção Remota.

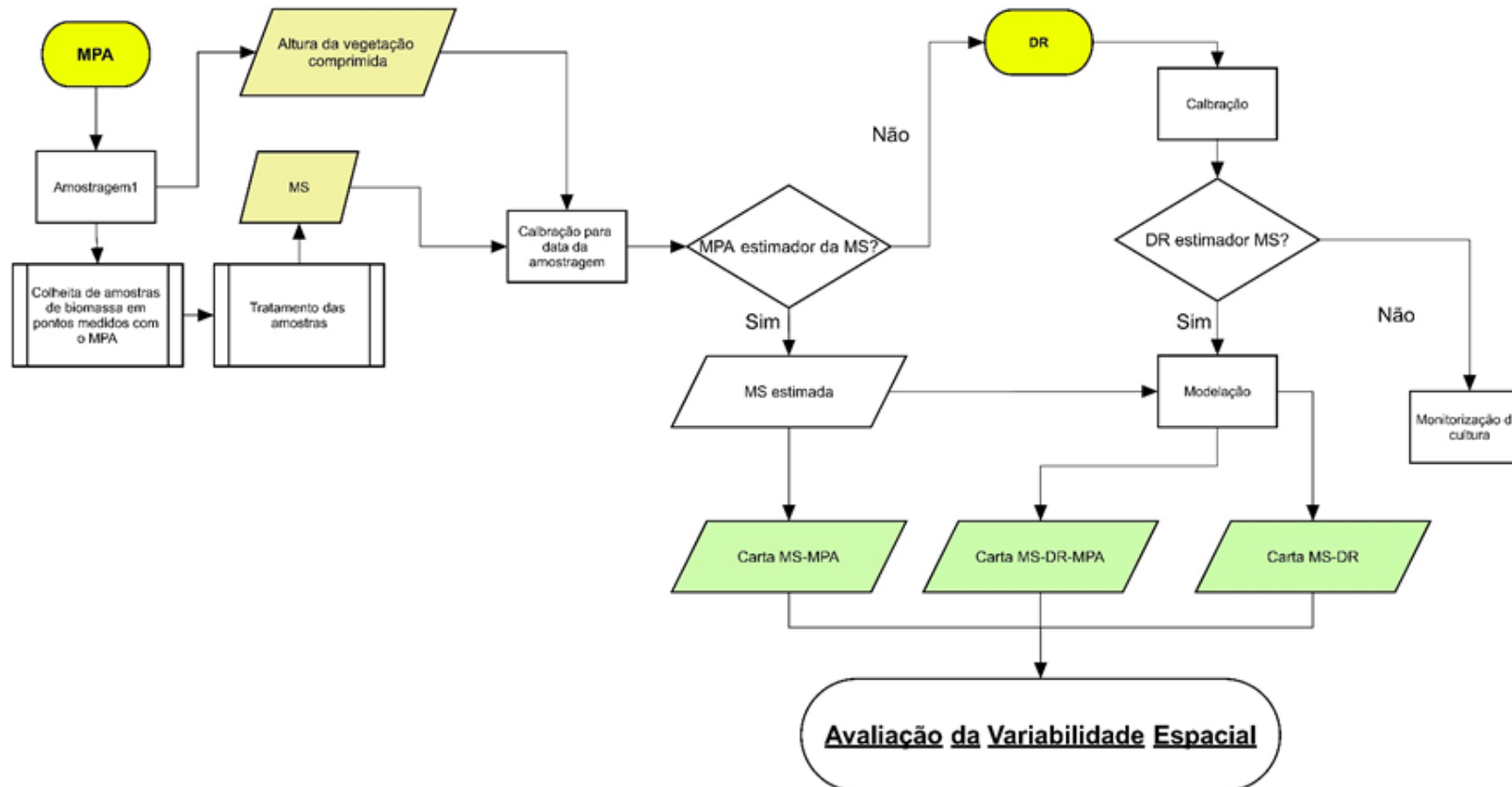
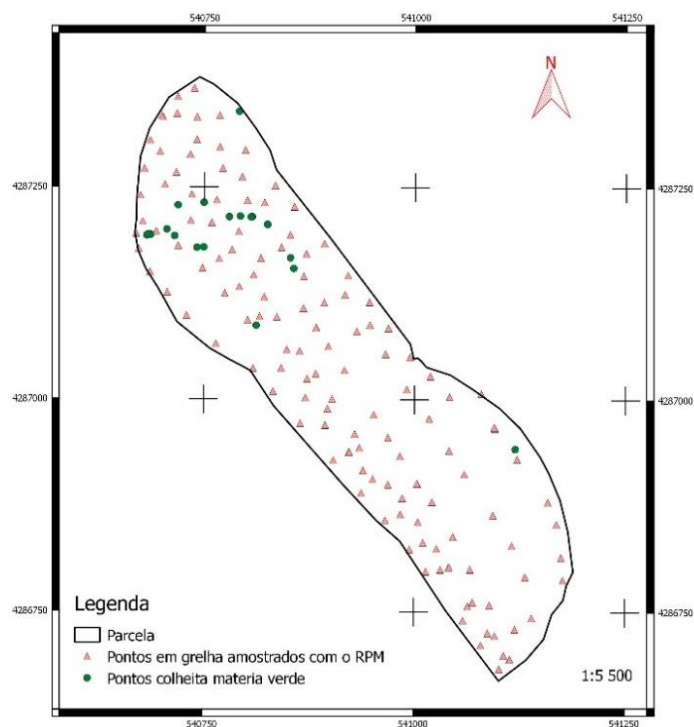


Figura 23 Fluxograma do ensaio.

### 3.4.1. Amostragens de Campo e Detecção Remota

No dia 16 de Abril foi feita uma medição com o **Medidor de Prato Ascendente (MPA)**. Como é visível na Figura 24 foram efectuadas medições com o MPA, tendo sido também colhidas amostras de biomassa em alguns desses pontos.



**Figura 24 Pontos amostrados com o MPA e pontos de amostragem de biomassa.**

Destes procedimentos foram obtidos, de modo directo, os dados referentes a:

- 161 pontos com medições de altura da vegetação pelo MPA;
- 23 pontos onde foram colhidas amostras de biomassa, em pontos medidos com o MPA.

A parcela foi percorrida utilizando uma moto 4 munida com um dispositivo android móvel onde foi instalada uma aplicação de condução por GPS (barra de luzes). Neste mesmo aparelho foi também instalada a aplicação que conecta via Bluetooth o MPA e o sensor GPS do dispositivo móvel. É, portanto, nesta aplicação que ficam armazenados todos os dados, de medição e de georreferenciação, obtidos pela dupla MPA e dispositivo móvel. De salientar que o nível de precisão do dispositivo GPS não é inferior a 5 m.

A recolha de **amostras de biomassa** foi feita com recurso a utilização de uma quadricula metálica de dimensões  $0,0625\text{m}^2$  ( $25\text{cm} \times 25\text{cm}$ ) recorrendo a uma tesoura para efectuar o corte. Guardou-se o material vegetal em sacos de plástico, posteriormente numerados e fechados, seguindo o mais rapidamente possível para o frigorífico de modo a evitar perda de peso seco. A selecção destes pontos foi feita de modo visual, fazendo corresponder as observações às alturas máximas, médias e mínimas, posteriormente medidas com o MPA.



Figura 25 Corte de biomassa com o MPA ao lado.

Relativamente à **DR**, os dados foram recolhidos por satélite dia 25 de Abril. Foram utilizadas imagens de satélite disponibilizadas pela ESA (European Space Agency), obtidas pelo satélite Sentinel-2, e com informação no espectro do visível (RGB) e infravermelho próximo (NIR).

A data da imagem de satélite acima mencionada foi escolhida por proximidade da data de amostragem da pastagem e disponibilidade de imagens viáveis. Entenda-se “viáveis” por qualidade da imagem obtida com utilidade face à influência de condições meteorológicas adversas.

## **3.4.2. Manuseamento e Tratamento dos Dados de Campo e Detecção Remota**

### **3.4.2.1. Dados de Campo**

A **biomassa** colhida foi tratada no laboratório da Secção de Agricultura do Instituto Superior de Agronomia de modo a obter-se a MS. Em primeiro lugar, foi separada a biomassa, por amostra, em três grupos, sendo eles, gramíneas, leguminosas e outros. Após a separação ter sido feita, procedeu-se à secagem de cada amostra individualizada numa estufa à temperatura de 65 °C durante um intervalo de tempo de 48 horas. Findo este processo pesou-se individualmente cada grupo de cada amostra, de modo a obter a matéria seca de leguminosas (MSL), a matéria seca de gramíneas (MSG), a matéria seca de outros (MSO) e a matéria seca total (MST) (Quadro 19).

Os dados obtidos pelo **MPA** foram tratados em duas fases, sendo elas a calibração e validação do equipamento e a introdução, para posterior análise e manipulação, no SIG. Na primeira fase, e tendo em conta que o aparelho apenas mede a altura comprimida da matéria verde, converteu-se a altura, em milímetros, em MS, em Kg/ha. Para tal foram construídas várias regressões (4.1.1. Avaliação do MPA como estimador da MS) de modo a obter uma correlação entre MS e altura da vegetação. Numa segunda fase, foram introduzidos todos os dados no SIG de modo a ser possível manuseá-los e interpolá-los.

### **3.4.2.2. Detecção Remota**

As imagens de satélite (Sentinel-2) foram descarregadas e igualmente processadas num SIG, com o objectivo de calcular alguns IV.

Todos os índices calculados neste trabalho foram obtidos através da utilização das bandas NIR e RGB. Os IV utilizados encontram-se no Quadro 3, apresentado com as respectivas formulas (Grave 2013; Lourenço 2018; Martins 2015; Penteado 2014).

No mesmo SIG, foi ainda possível associar os valores dos diferentes IV aos pontos de amostragem para posterior análise.



**Quadro 3 Índices de vegetação e respectivas fórmulas.**

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$
PCD (Plant Cell Density)	$\frac{NIR}{R}$
SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	$\frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} * (1 + L), \text{ com } L = 0,5$
PVR (Photosynthetic Vigour Ratio)	$\frac{G}{R}$
PPR (Plant Pigment Ratio)	$\frac{G}{B}$
IPVI (Infrared Percentage Vegetation Index)	$\frac{NIR}{NIR + R}$
DVI (Difference Vegetation Index)	$NIR - R$
SGB (Subtraction Green Blue)	$G - B$
RB (Red Blue)	$\frac{R}{B}$
NDVIg (Normalized Difference Vegetation Index – green)	$\frac{NIR - G}{NIR + G}$
NDGRI (Normalized Difference Green Red Index)	$\frac{R - G}{R + G}$
NDGBI (Normalized Difference Green Blue Index)	$\frac{G - B}{G + B}$
NDRBI (Normalized Difference Red Blue Index)	$\frac{R - B}{R + B}$
I (intensity)	$R + G + B$

HUE	$\frac{G - B}{(G + B + R) - 3 * 2}$
S (Saturation)	$\frac{(G + B + R) - 3 * B}{G + B + R}$
TVI (Transformed Vegetation Index)	$\sqrt{(NDVI + 0,5)}$
EVI (Enhanced Vegetation Index)	$2,5 * \left( \frac{NIR - R}{NIR + C1 * R - C2 * B + L} \right)$ com C1 = 6 ; C2 = 7,5 ; L = 1

### 3.5. Tratamento Estatístico

As variáveis foram sujeitas a tratamento estatístico obtendo-se, através dos softwares MICROSOFT OFFICE EXCEL 2016 e STATISTICA 10, as estatísticas sumárias (média, mínimo, máximo, mediana, 1º quartil, 3º quartil, amplitude, variância, desvio-padrão e coeficiente de variação) dos dados de campo e da DR.

Seguidamente, foram feitas análises de correlação entre as variáveis de campo e entre estas e os índices de vegetação de maneira a averiguar quais apresentaram maior relação entre si.

Por último, foram criados vários modelos estatísticos descritivos para as variáveis MS, tendo por base:

1. Altura MPA (Regressão linear)
2. DR por satélite ("General linear regression model");
3. DR por satélite e altura MPA ("General linear regression model");

Para o caso dos dados recolhidos pelo MPA, depois de calibrados e validados, foi criada uma carta que mostra a distribuição espacial dos valores observados. Após ajustamento dos modelos criou-se uma carta de produtividade para o modelo de previsão de maior precisão.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 - Dados de Campo

#### 4.1.1. Avaliação do MPA como estimador da MS

A avaliação do MPA como estimador da MS foi feita em duas fases distintas, sendo a primeira fase a da calibração do medidor e a segunda de validação da calibração.

Entrando na fase da calibração, do total de pontos amostrados (em 7.1. Quadros da Amostragem de Campo), foi feita uma primeira regressão, Figura 26. Esta teve por base o total dos 23 pontos amostrados, obtendo-se a equação presente na segunda coluna do Quadro 4. Quanto à interpretação da recta gerada por esta regressão obtiveram-se os parâmetros sumários da mesma, sendo de destacar a percentagem de variação explicada pela recta,  $R^2$  ajustado de 43,5%.

Tornando a analisar a Figura 26, notou-se uma grande dispersão entre medições feitas pelo MPA e a MS, para alturas superiores a 200 mm. De um modo geral obtiveram-se valores de MS muito dispares para o mesmo valor de altura medido pelo MPA. Para alturas de, aproximadamente, 220 mm e 250 mm (capacidade máxima de medição do MPA) obtiveram-se valores de MS com variações do simples para o dobro.

Procedeu-se a uma nova regressão, excluindo todos os valores medidos pelo MPA acima de 200 mm (Figura 27), obtendo-se um total de 15 pontos, gerando uma recta de regressão ajustada, com a equação e os valores de interpretação presentes no Quadro 4.

Com a segunda regressão foi possível melhorar significativamente o  $R^2$  ajustado de 43,5% para 72,4%, diminuindo ainda o desvio padrão da estimativa de 972,9 para 631,2 KgMS/ha.

**Quadro 4** Interpretação das regressões lineares com o total de 23 e 15 pontos amostrados.

	n=23	n=15
Equação	$MS = 1015,6 + 12,635 * altura$	$MS = 591,67 + 17,028 * altura$
r	0,679	0,862
$R^2$	0,461	0,744
$R^2$ ajustado	<b>0,435</b>	<b>0,724</b>
Des. Pad. da Estimativa	972,9	631,2

De modo a reforçar a hipótese de fraca capacidade do MPA em medir alturas acima dos 200 mm fez-se ainda uma terceira regressão (Figura 28), contendo apenas os pontos com alturas acima do valor

acima estipulado, obtendo-se um  $R^2$  de 6,2%. Este valor, além de extremamente baixo tem uma elevada dispersão.

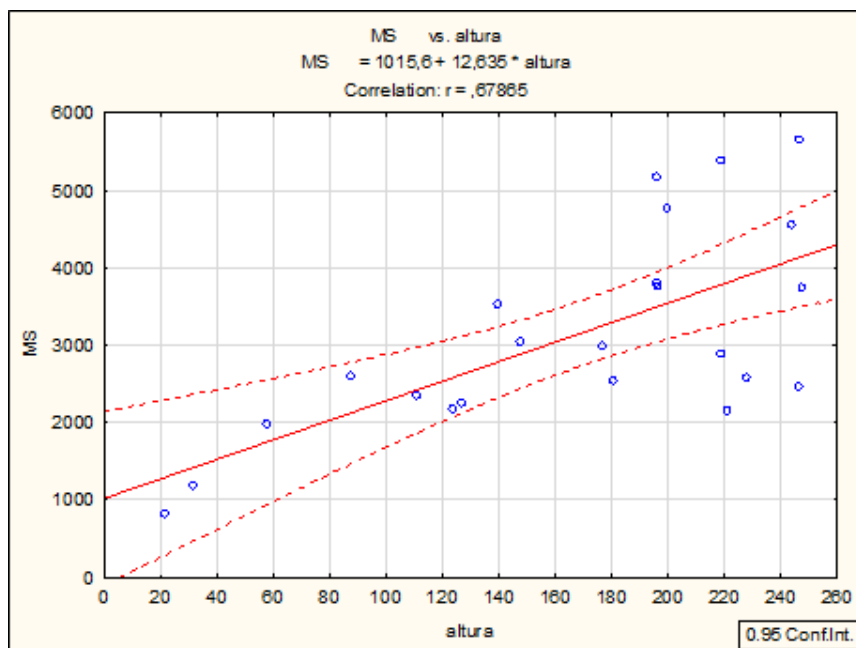


Figura 26 Regressão Linear com os 23 pontos amostrados.

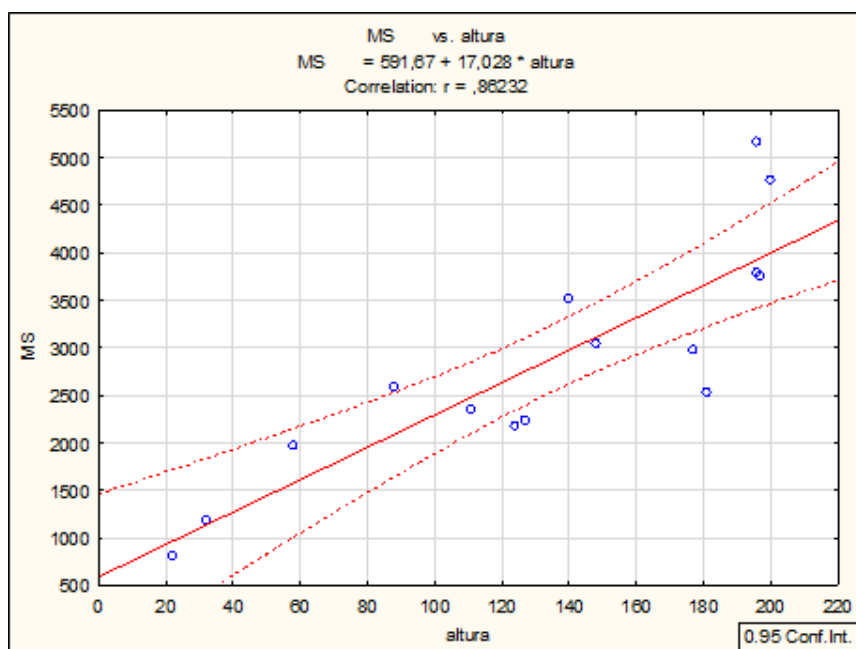


Figura 27 Regressão linear com os 15 pontos seleccionados com alturas de medição pelo MPAs $\leq$ 200 mm.

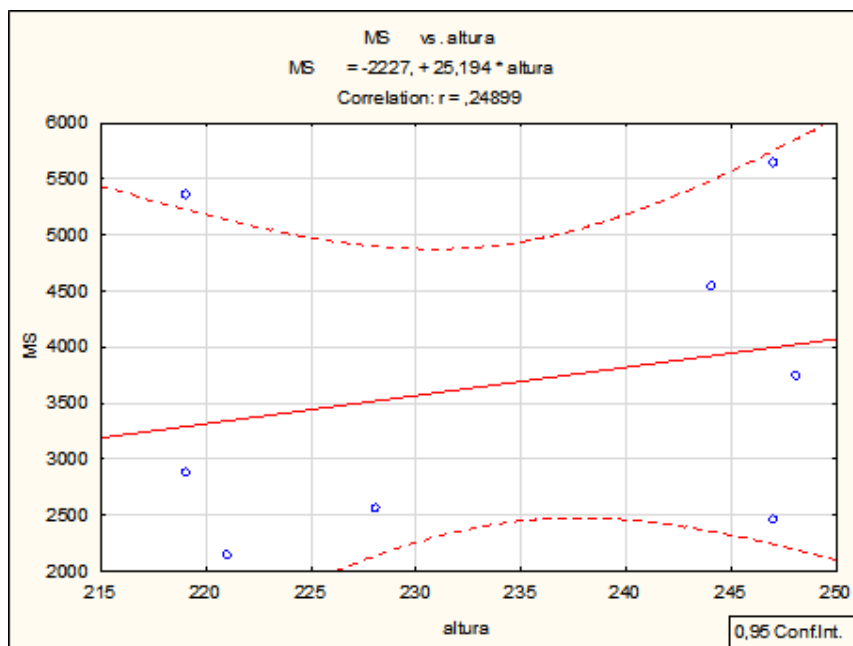


Figura 28 Regressão linear com os 8 pontos seleccionados com alturas de medição pelo MPA>200 mm.

Relativamente à validação do equipamento, esta foi feita tendo em conta os 15 pontos que originaram a recta de regressão mais coerente, para alturas inferiores ou iguais a 200 mm.

Para fazê-lo, utilizou-se o método de reamostragem de *Jackknife* (Quadro 21), que sugere uma reamostra de forma sistemática, contrariamente a outros métodos de amostragem como o *Bootstrap* (MathWorks 2015). Para uma amostra com  $n$  pontos, este método baseia-se na exclusão de um ponto do conjunto total observado ( $n-1$ ), recalculando-se o estimador tendo por base os valores restantes. A utilização deste método possibilita perceber se a regressão está a sobre ou sub-estimar os valores observados.

Num modelo perfeitamente ajustado ter-se ia uma recta de regressão 1:1, ou seja, uma recta em que, passando pela origem, o declive é 1 ( $m=1$ ), fazendo com que os parâmetros estimados tenham igual valor aos parâmetros observados. Neste caso (Figura 29), tem-se um declive de 0,958 e um  $R^2$  de 60,8%, sendo que este modelo é capaz de explicar 60,8% da variabilidade encontrada entre os valores de MS observados e de MS estimados.

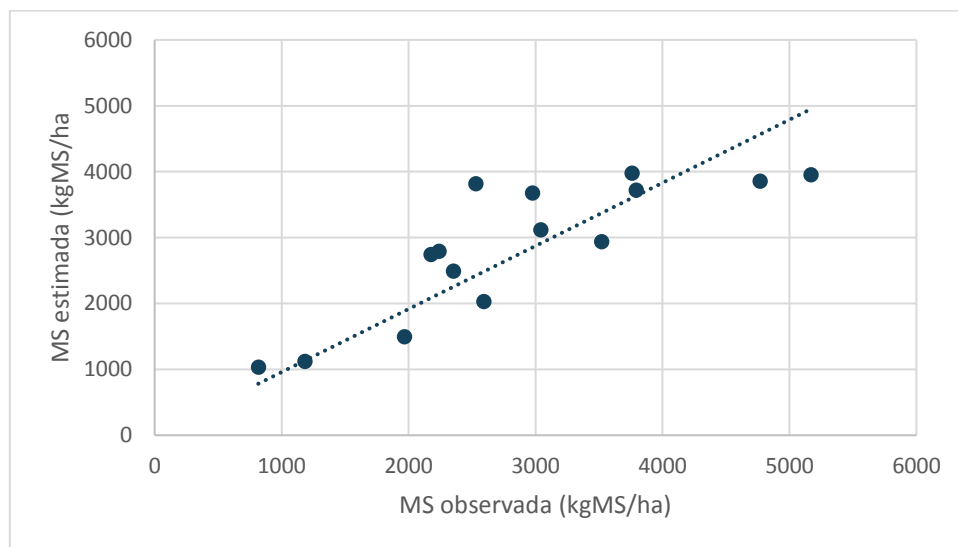


Figura 29 MS observada (xx) e MS estimada (yy) obtida pelo método de reamostragem de Jackknife, com  $R^2=0,608$  e  $m=0,958$ .

#### 4.1.2 Estatística Descritiva

Apresenta-se em primeiro lugar o tratamento estatístico descritivo referente às amostragens na parcela com o objectivo de averiguar e quantificar a existência de variabilidade significativa das variáveis de campo, e da DR. São estes resultados que permitem entender quais os níveis de variabilidade dos factores existentes na pastagem.

No Quadro 5 observam-se os dados estatísticos referentes aos dados do total de 23 pontos de amostragem (baseados nos Quadro 19 e Quadro 20).

É de salientar amplitude de valores nos parâmetros MS e altura, respetivamente de 4832 Kg/ha e 226 mm, tal como um valor de MS médio de 3141,6Kg/ha. OS C.V. destas duas variáveis estão muito próximos de 41%. A MVG e a MSG obtiveram C.V. muito próximos de 51,5.

A classe das outras espécies teve o C.V. maior, tanto em verde como em seco.

Relativamente aos dados da DR para o Satélite (Quadro 6), é de notar o C.V. mais baixo para o índice PPR (1,7%), seguindo-se o TVI (2,4%) e o IPVI (3,3%). Quanto aos C.V. máximos registados estes foram obtidos para os índices NDGB (43,8%), SGB (42,8%) e, embora negativo, HUE (-42,8%). Foram verificados valores médios de NDVI de 0,6, SAVI de 0,4 e EVI de 0,7. Relativamente à variância, esta encontrou-se muito próxima de zero para todos os índices excepto para o PCD.

Pode então concluir-se que existe uma variabilidade espacial significativa relativamente aos parâmetros em estudo neste trabalho.

**Quadro 5 Estatística descritiva para os dados de campo, em bruto (n=23).**

	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	1ºQ	3ºQ	Amplitude	variância	Desvio Padrão	C.V.
MVG	9545,739	10176,000	0,000	19792,000	5456,000	14160,000	19792,000	24121500,838	4911,364	51,451
MVL	3817,739	3488,000	0,000	9344,000	1968,000	5584,000	9344,000	5851781,565	2419,046	63,363
MVO	1352,348	896,000	0,000	5648,000	256,000	1824,000	5648,000	2286193,328	1512,016	111,807
MVT	14715,826	14688,000	4112,000	24960,000	9552,000	20704,000	20848,000	40577517,787	6370,048	43,287
MSG	2300,522	2160,000	128,000	5088,000	1312,000	3312,000	4960,000	1400644,806	1183,488	51,444
MSL	624,696	592,000	0,000	1664,000	384,000	832,000	1664,000	124799,494	353,270	56,551
MSO	216,348	128,000	0,000	992,000	32,000	336,000	992,000	60855,146	246,688	114,024
altura	168,261	196,000	22,000	248,000	124,000	221,000	226,000	4832,383	69,515	41,314
MS	3141,565	2880,000	816,000	5648,000	2240,000	3792,000	4832,000	1674998,893	1294,217	41,197
MV-MS	-14547,565	-14511,000	-24741,000	-4080,000	-20564,000	-9464,000	20661,000	39972094,802	6322,349	-43,460

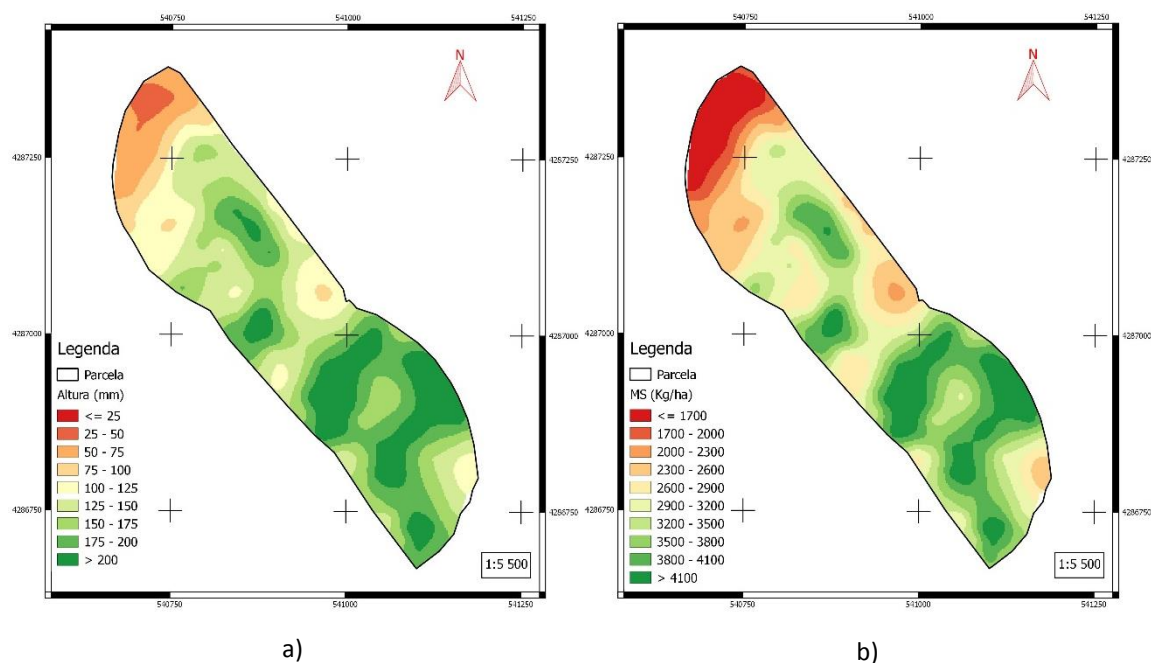


**Quadro 6 Estatística descritiva para os dados de DR por satélite (n=23).**

<b>Satélite</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>1ºQ</b>	<b>3ºQ</b>	<b>Amplitude</b>	<b>Variância</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>C.V.</b>
SAVI	0,443	0,450	0,340	0,494	0,436	0,469	0,154	0,002	0,043	9,771
RB	0,742	0,723	0,673	0,849	0,707	0,765	0,176	0,003	0,056	7,610
DVI	0,279	0,282	0,204	0,317	0,270	0,297	0,114	0,001	0,030	10,943
NDGR	-0,169	-0,180	-0,207	-0,088	-0,196	-0,160	0,119	0,002	0,040	-23,998
PPR	1,040	1,034	1,012	1,072	1,025	1,057	0,060	0,000	0,018	1,732
NDGB	0,020	0,017	0,006	0,035	0,012	0,028	0,029	0,000	0,009	43,760
PCD	4,475	4,555	3,075	5,369	4,285	4,869	2,293	0,484	0,695	15,541
S	-0,079	-0,080	-0,112	-0,047	-0,089	-0,063	0,065	0,000	0,020	-24,895
I	0,307	0,302	0,288	0,347	0,296	0,308	0,059	0,000	0,018	5,944
NDVI	0,628	0,640	0,509	0,686	0,622	0,659	0,177	0,003	0,054	8,518
EVI	0,680	0,698	0,498	0,778	0,663	0,722	0,280	0,006	0,077	11,327
TVI	1,062	1,068	1,005	1,089	1,059	1,077	0,084	0,001	0,026	2,406
PVR	1,411	1,439	1,193	1,523	1,382	1,488	0,330	0,012	0,112	7,911
NDRB	-0,150	-0,161	-0,196	-0,082	-0,171	-0,133	0,114	0,001	0,036	-24,185
HUE	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	-0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	-42,832
IPVI	0,814	0,820	0,755	0,843	0,811	0,830	0,088	0,001	0,027	3,287
NDVIg	0,516	0,518	0,441	0,558	0,512	0,532	0,117	0,001	0,032	6,288
SGB	0,004	0,004	0,001	0,008	0,003	0,006	0,006	0,000	0,002	42,835

#### 4.1.1.1 Análise da Variabilidade Espacial

Para realizar a análise da variabilidade em questão, foram tidos em conta os dados recolhidos nas duas amostragens da parcela, Figura 24. Através da técnica de Kriging, um processo geoestatístico que gera e estima informação para uma superfície, baseada em pontos georreferenciados, foi possível criar o conjunto de cartas presentes na Figura 30.



**Figura 30 Variabilidade espacial da pastagem na parcela. a) Variabilidade espacial da altura medida pelo MPA; b) Variabilidade espacial da MS da parcela, obtida a partir da altura medida pelo MPA e pela recta de calibração.**

A informação presente nestes mapas foi gerada através do levantamento das alturas de vegetação comprimidas pelo MPA (Figura 30a). Desde logo se pôde verificar a existência de alguns padrões de variabilidade na parcela, sendo notória a presença de vegetação com leituras de menor valor na rampa pivotante a oeste, comparativamente com a da rampa pivotante a este.

Na Figura 30b encontra-se a carta da variabilidade espacial da matéria seca com base na equação obtida pela regressão linear ajustada em 4.1.1. Avaliação do MPA como estimador da MS.

Numa primeira análise, além de outros factores intrínsecos da parcela não estudados, a variabilidade foi potenciada por problemas de uniformidade de rega (insinuada pelas manchas circulares presentes na Figura 30), e com a própria topografia do terreno e operações de mobilização profunda anteriores ao ano agrícola em questão. Acrescenta-se ainda que na rampa pivotante a Este, as zonas de maior produtividade são zonas de menor cota e as de menor produtividade são zonas maior cota, sugerindo ainda a existência de problemas de dotação hídrica.

## 4.2. Correlação e modelação

### 4.2.1. Análise da correlação

A análise de correlação permite verificar a relação existente entre cada variável em estudo. Isto é, o coeficiente de correlação indica a eventual linearidade entre as variáveis, podendo esta ser positiva ou negativa (entre -1 e 1).

Analisando o Quadro 7 referente às correlações directas dos dados de campo observam-se coeficientes de correlação muito semelhantes entre a altura-MVG, altura-MVT e altura-MS compreendidos entre 68% e 69%. As gramíneas presentes na mistura aparentam ser a classe que mais influência tem no peso final em verde e em seco, com coeficientes de correlação, respectivamente de, 95% e 94%. Destaca-se também a pouca influencia da classe de “outros”, em verde e em seco, na MS, respectivamente, 7,5% e 8%.

Relativamente à DR, no Quadro 8 são estabelecidas as correlações entre os diferentes índices calculados a partir da obtenção de dados por satélite. Destaca-se a baixa correlação entre os índices SGB-S, HUE-S, NDGB-S e PPR-S.

No Quadro 9 estão expressas as correlações entre os dados da DR e os dados de campo, respectivamente, por satélite. Relativamente ao satélite, os IV que melhor se correlacionam com a MS, embora negativamente, são o SAVI, PCD, EVI e NDVIg, com coeficientes de correlação respectivamente, -63,2%, -63,2%, -63,1% e -63,5%. Para o mesmo parâmetro os índices que menos se relacionam são o PPR, NDGB, HUE e SGB, com os respectivos valores de -27,8%, 27,9%, 25,8% e 26,2%. Relativamente à variável altura, os índices com melhor correlação, foram o DVI, o PCD e embora negativa EVI, com respectivos valores de 80%, 81% e -78,9%, sendo que os que registaram menor correlação foram o PPR, NDGB, HUE e SGB.

**Quadro 7 Correlação entre as variáveis de campo (n=23).**

	Média	Desv. P.	MVG	MVL	MVO	MVT	MSG	MSL	MSO	MS	altura	MV-MS
MVG	9545,739	4911,364	1,000	0,331	-0,022	0,891	0,979	0,231	-0,028	0,953	0,688	-0,891
MVL	3817,739	2419,046	0,331	1,000	0,107	0,660	0,274	0,958	0,037	0,519	0,477	-0,660
MVO	1352,348	1512,016	-0,022	0,107	1,000	0,261	-0,134	0,063	0,943	0,075	-0,095	-0,264
MVT	14715,826	6370,048	0,891	0,660	0,261	1,000	0,827	0,556	0,216	0,949	0,689	-1,000
MSG	2300,522	1183,488	0,979	0,274	-0,134	0,827	1,000	0,189	-0,119	0,943	0,647	-0,826
MSL	624,696	353,270	0,231	0,958	0,063	0,556	0,189	1,000	0,000	0,446	0,366	-0,557
MSO	216,348	246,688	-0,028	0,037	0,943	0,216	-0,119	0,000	1,000	0,082	-0,065	-0,219
MS	3141,565	1294,217	0,953	0,519	0,075	0,949	0,943	0,446	0,082	1,000	0,679	-0,949
altura	168,261	69,515	0,688	0,477	-0,095	0,689	0,647	0,366	-0,065	0,679	1,000	-0,683
MV-MS	-14547,565	6322,349	-0,891	-0,660	-0,264	-1,000	-0,826	-0,557	-0,219	-0,949	-0,683	1,000

**Quadro 8 Correlação entre os dados da DR por satélite, em bruto (n=23)**

<b>Satélite</b>	SAVI	RB	DVI	NDGRI	PPR	NDGB	PCD	S	I	NDVI	EVI	TVI	PVR	NDRB	HUE	IPVI	NDVIg	SGB
SAVI	1,000	-0,975	0,997	-0,982	0,549	0,552	0,993	-0,884	-0,910	0,993	0,997	0,992	0,984	-0,975	-0,522	0,993	0,994	0,526
RB	-0,975	1,000	-0,959	0,986	-0,458	-0,462	-0,985	0,944	0,951	-0,987	-0,977	-0,987	-0,986	1,000	0,427	-0,987	-0,978	-0,431
DVI	0,997	-0,959	1,000	-0,966	0,535	0,539	0,987	-0,872	-0,876	0,980	0,996	0,979	0,970	-0,960	-0,509	0,980	0,987	0,514
NDGR	-0,982	0,986	-0,966	1,000	-0,601	-0,605	-0,984	0,876	0,953	-0,994	-0,975	-0,994	-0,999	0,983	0,573	-0,994	-0,974	-0,577
PPR	0,549	-0,458	0,535	-0,601	1,000	1,000	0,507	-0,140	-0,528	0,560	0,496	0,563	0,591	-0,442	-0,999	0,560	0,490	0,999
NDGB	0,552	-0,462	0,539	-0,605	1,000	1,000	0,511	-0,145	-0,532	0,564	0,500	0,567	0,595	-0,446	-0,999	0,564	0,494	0,999
PCD	0,993	-0,985	0,987	-0,984	0,507	0,511	1,000	-0,911	-0,932	0,992	0,991	0,990	0,988	-0,986	-0,476	0,992	0,994	0,481
S	-0,884	0,944	-0,872	0,876	-0,140	-0,145	-0,911	1,000	0,863	-0,893	-0,907	-0,891	-0,880	0,950	0,106	-0,893	-0,909	-0,111
I	-0,910	0,951	-0,876	0,953	-0,528	-0,532	-0,932	0,863	1,000	-0,949	-0,892	-0,950	-0,948	0,946	0,494	-0,949	-0,928	-0,498
NDVI	0,993	-0,987	0,980	-0,994	0,560	0,564	0,992	-0,893	-0,949	1,000	0,986	1,000	0,993	-0,985	-0,531	1,000	0,992	0,535
EVI	0,997	-0,977	0,996	-0,975	0,496	0,500	0,991	-0,907	-0,892	0,986	1,000	0,985	0,978	-0,979	-0,469	0,986	0,990	0,474
TVI	0,992	-0,987	0,979	-0,994	0,563	0,567	0,990	-0,891	-0,950	1,000	0,985	1,000	0,993	-0,984	-0,535	1,000	0,991	0,539
PVR	0,984	-0,986	0,970	-0,999	0,591	0,595	0,988	-0,880	-0,948	0,993	0,978	0,993	1,000	-0,984	-0,563	0,993	0,975	0,567
NDRB	-0,975	1,000	-0,960	0,983	-0,442	-0,446	-0,986	0,950	0,946	-0,985	-0,979	-0,984	-0,984	1,000	0,411	-0,985	-0,979	-0,415
HUE	-0,522	0,427	-0,509	0,573	-0,999	-0,999	-0,476	0,106	0,494	-0,531	-0,469	-0,535	-0,563	0,411	1,000	-0,531	-0,460	-1,000
IPVI	0,993	-0,987	0,980	-0,994	0,560	0,564	0,992	-0,893	-0,949	1,000	0,986	1,000	0,993	-0,985	-0,531	1,000	0,992	0,535
NDVIg	0,994	-0,978	0,987	-0,974	0,490	0,494	0,994	-0,909	-0,928	0,992	0,990	0,991	0,975	-0,979	-0,460	0,992	1,000	0,465
SGB	0,526	-0,431	0,514	-0,577	0,999	0,999	0,481	-0,111	-0,498	0,535	0,474	0,539	0,567	-0,415	-1,000	0,535	0,465	1,000

Quadro 9 Correlação entre os dados da DR por satélite com os dados de campo, em bruto (n=23).

	SAVI	RB	DVI	NDGRI	PPR	NDGB	PCD	S	I	NDVI	EVI	TVI	PVR	NDRB	HUE	IPVI	NDVig	SGB
MVG	-0,558	0,511	-0,578	0,499	-0,183	-0,184	-0,569	0,504	0,452	-0,525	-0,561	-0,521	-0,513	0,519	0,162	-0,525	-0,566	-0,167
MVL	-0,579	0,512	-0,604	0,525	-0,310	-0,312	-0,549	0,460	0,356	-0,533	-0,594	-0,532	-0,534	0,517	0,306	-0,533	-0,544	-0,309
MVO	0,176	-0,152	0,162	-0,215	0,420	0,418	0,170	-0,015	-0,235	0,195	0,146	0,197	0,209	-0,144	-0,417	0,195	0,162	0,416
MVT	-0,608	0,552	-0,636	0,533	-0,159	-0,161	-0,607	0,560	0,428	-0,561	-0,623	-0,557	-0,548	0,562	0,142	-0,561	-0,605	-0,147
MSG	-0,557	0,506	-0,569	0,516	-0,295	-0,296	-0,568	0,457	0,488	-0,535	-0,548	-0,532	-0,526	0,511	0,274	-0,535	-0,564	-0,278
MSL	-0,561	0,488	-0,583	0,499	-0,297	-0,299	-0,518	0,437	0,337	-0,519	-0,572	-0,519	-0,503	0,490	0,294	-0,519	-0,534	-0,296
MSO	0,158	-0,143	0,145	-0,199	0,383	0,380	0,148	-0,019	-0,204	0,176	0,135	0,178	0,193	-0,135	-0,383	0,176	0,139	0,382
MS	-0,632	0,569	-0,652	0,570	-0,278	-0,279	-0,632	0,534	0,500	-0,597	-0,631	-0,594	-0,581	0,575	0,258	-0,597	-0,635	-0,262
altura	-0,776	0,740	-0,801	0,733	-0,303	-0,304	-0,810	0,718	0,646	-0,735	-0,789	-0,728	-0,756	0,754	0,274	-0,735	-0,767	-0,279
MV-MS	0,604	-0,548	0,632	-0,529	0,157	0,159	0,602	-0,556	-0,424	0,557	0,619	0,553	0,544	-0,558	-0,141	0,557	0,601	0,145

#### 4.2.2. Modelação

Após análise das correlações obtidas entre os dados do campo, procedeu-se à standardização das variáveis, medidas pelo MPA e os IV. Posteriormente foram efectuadas várias modelações com o intuito de melhorar a medição da variabilidade espacial da pastagem.

Foram construídos 8 modelos para estimar a M.S da pastagem com o objectivo de perceber qual o melhor método de obter uma boa caracterização da produtividade de uma pastagem de regadio, nas condições indicadas para este estudo, através de métodos não destrutivos (excepto para a calibração do MPA).

1. DR por satélite, n=23;
2. DR por satélite, n=15;
3. DR (NDVI) por satélite, n=23
4. DR (NDVI) por satélite, n= 15
5. DR por satélite e altura MPA, n=23;
6. DR por satélite e altura MPA, n=15;
7. DR (NDVI) por satélite e altura MPA, n=23;
8. DR (NDVI) por satélite e altura MPA, n=15.

O primeiro modelo (Quadro 11) foi obtido a partir da utilização da DR obtido por satélite, para o conjunto total de pontos amostrados, obtendo-se um modelo capaz de explicar 47,6% da variabilidade encontrada, recorrendo aos índices NDGRI, NDGB, NDVI e NDRBI para a previsão da MS.

De modo a acompanhar os dados de calibração do MPA, criou-se um segundo modelo (Quadro 12), igualmente baseado na DR e utilizando o mesmo critério de exclusão de pontos que na calibração do MPA. Obteve-se um modelo com capacidade de prever 85,3% da MS. Utilizaram-se os IV NDGRI, PPR, S, I, EVI e HUE. O NDGRI foi o único IV comum ao modelo 1 e 2.

O terceiro modelo (Quadro 13), utilizou apenas o NDVI para prever a MS. Optou-se por utilizar apenas este índice por se tratar de um índice extensamente utilizado. Neste modelo, utilizou-se a totalidade dos pontos amostrados, e obteve-se um  $R^2$  ajustado de 32,6%. O quarto modelo, utilizou igualmente o NDVI, no entanto, utilizaram-se os critérios de exclusão de pontos utilizados no modelo 2, obtendo-se um  $R^2$  ajustado, melhor que no terceiro modelo, respectivamente 53,9%.

No quinto modelo (Quadro 15) obteve-se um  $R^2$  ajustado de 48,8%, tendo sido utilizados os IV NDGB, I, NDVI, EVI e SGB, e ainda a variável altura medida pelo MPA. Com o mesmo critério de exclusão

de pontos utilizado nos modelos 2 e 4, criou-se um sexto modelo (Quadro 16), capaz de prever a MS em 90,2% utilizando os IV: SAVI, DVI, PPR, S, I, EVI, HUE, e altura medida pelo MPA.

Para o sétimo e oitavo modelo (Quadro 17 e Quadro 18), adicionaram-se aos modelos 3 e 4 a variável altura medida pelo MPA. Para o modelo 7 (n=23) obteve-se um  $R^2$  ajustado de 43,5%, sendo este menor quando comparado com o  $R^2$  ajustado do modelo 8 (n=15), 78,8%.

No Quadro 10 encontram-se resumidos os parâmetros de interesse para a análise de cada um dos modelos gerados.

**Quadro 10 Resumo dos parâmetros utilizados em cada modelo e respectivo  $R^2$  ajustado.**

Modelo	Resumo	Observado Vs Estimado	IV e parâmetros utilizados	n	$R^2$ ajustado
1	Quadro 11	Figura 32	NDGRI; NDGB; NDVI; NDRB	23	0,476
2	Quadro 12	Figura 33	NDGRI; PPR; S; I; EVI; HUE	15	0,853
3	Quadro 13	Figura 34	NDVI	23	0,326
4	Quadro 14	Figura 35	NDVI	15	0,539
5	Quadro 15	Figura 36	altura; NDGB; I; NDVI; EVI; SGB	23	0,488
6	Quadro 16	Figura 37	altura; SAVI; DVI; PPR; S; I; EVI; HUE	15	0,902
7	Quadro 17	Figura 38	altura; NDVI	23	0,435
8	Quadro 18	Figura 39	altura; NDVI	15	0,788



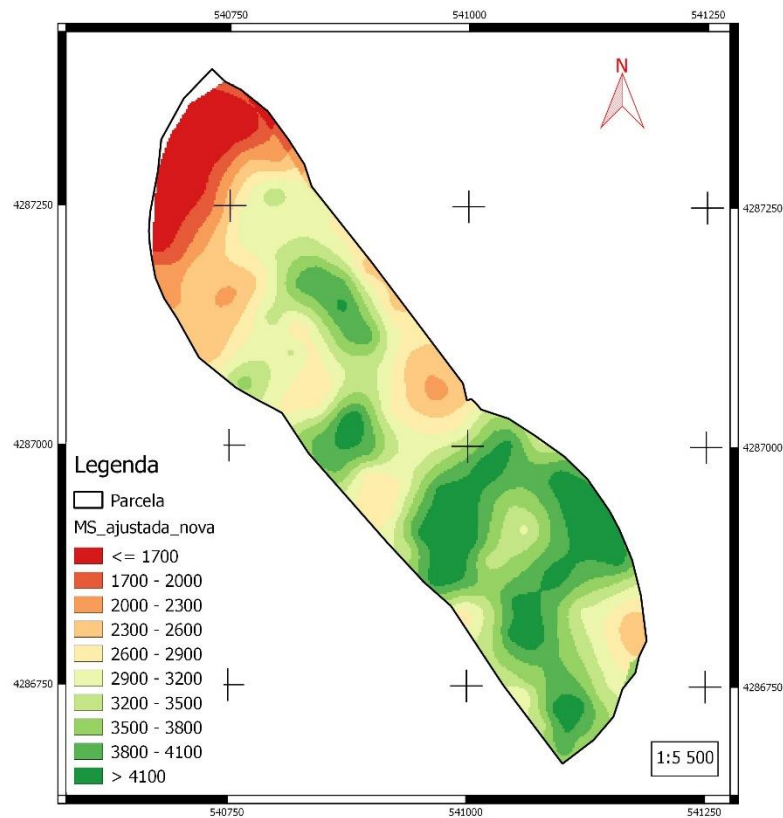
### 4.2.3. Análise Explanatória do Modelo

Com o sexto modelo obtido, anteriormente definido como o modelo capaz de prever com maior precisão a produção de MS, sendo também a altura medida pelo MPA parte integrante do mesmo, criou-se, no SIG, uma nova carta de produtividade (Figura 31b). Esta foi baseada na equação estandardizada gerada pelo modelo:

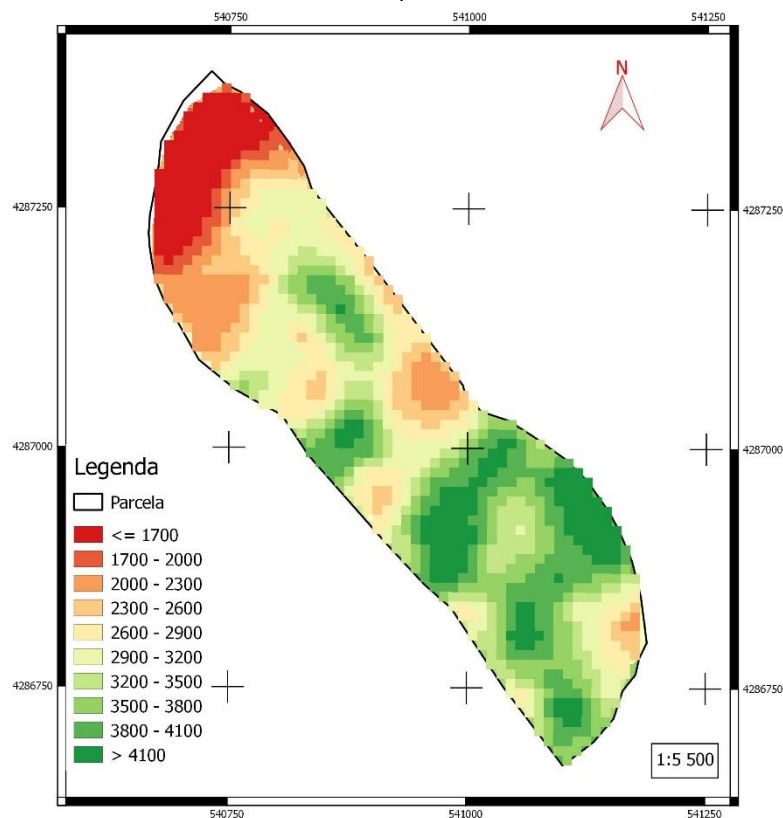
$$\begin{aligned} \text{MS (kgMS/ha)} = & -1,501 * 10^{-11} + 1,89734275 * \text{altura (mm)} + 48,6989857 * \text{SAVI} + 70,0267225 \\ & * \text{DVI} + 65,8091909 * \text{PPR} - 57,560093 * \text{S} + 23,8542692 * \text{I} - 152,50790 * \text{EVI} \\ & + 42,8645862 * \text{HUE} \end{aligned}$$

A carta da variabilidade espacial obtida através do modelo 6, foi feita com uma resolução espacial de 10m, coincidente com a resolução espacial do satélite Sentinel-2. Com o recurso ao modelo, e comparando com a carta obtida pela regressão linear de calibração do MPA (Figura 31a) são visíveis algumas manchas de maior detalhe, que não seriam observáveis na carta obtida por Krigagem e calibração do MPA.

Sendo resolução temporal do Sentinel-2 de 10 dias, a utilização deste satélite complementada com o MPA (devidamente calibrado), possibilitaria a avaliação da MS disponível em cada passagem do satélite. Esta avaliação permite ainda melhorias na gestão do encabeçamento, potenciando eventuais acréscimos de rendimento e manutenção da pastagem.



a)



b)

**Figura 31** Carta de variabilidade espacial da MS. a) Variabilidade espacial, obtida por Krigagem da altura, e posterior calculo da MS, a partir de uma regressão linear; b) Variabilidade espacial, obtida através do 6º modelo criado neste trabalho, como uma resolução espacial de 10m, coincidente com a resolução espacial do satélite.

**Quadro 11 Modelo 1 - R<sup>2</sup> ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para os 10 melhores modelos de previsão da MS com base na DR por satélite n=23.**

	R <sup>2</sup> ajust.	Nº Efeitos	SAVI	RB	DVI	NDGRI	PPR	NDGB	PCD	S	I	NDVI	EVI	TVI	PVR	NDRB	HUE	IPVI	NDVIg	SGB
1	0,476	5				-245,41		-50,29				-4,45				214,91				
2	0,476	4				-245,41		-50,29				-4,45				214,91				
3	0,476	4				-245,34		-50,27								214,84		-4,44		
4	0,474	4				-182,57		-37,78								161,06			-2,10	
5	0,473	4				-264,81		-54,29						-4,47		232,16				
6	0,464	6	-20,25				53,10			-57,51			20,58			66,06				-31,36
7	0,464	7	16,21	94,81			61,59								-92,36	-174,72			-15,33	-42,51
8	0,462	6		20,91	-40,17		22,85				-4,21		54,94							-21,55
9	0,461	7		85,64			58,48						9,59		-84,85	-158,62			-8,93	-39,91
10	0,460	6	9,36			-390,43		-56,59								347,91			-10,12	-24,75

**Quadro 12 Modelo 2 - R<sup>2</sup> ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para os 10 melhores modelos de previsão da MS com base na DR por satélite n=15.**

	R <sup>2</sup> ajust.	Nº Efeitos	SAVI	RB	DVI	NDGRI	PPR	NDGB	PCD	S	I	NDVI	EVI	TVI	PVR	NDRB	HUE	IPVI	NDVIg	SGB
1	0,853	6				56,96	94,37			-61,73	6,01		-5,95				51,12			
2	0,853	6				61,85	94,07			-62,83	3,65						49,54		-4,66	
3	0,852	6	15,01			70,87	94,91			-66,28							48,47		-17,69	
4	0,852	6	-5,34			58,62	93,58			-61,57	4,93						49,75			
5	0,849	6			-4,08	55,17	91,56			-57,47	5,26						50,65			
6	0,849	6				68,90	92,40			-64,09			8,96				46,22		-11,59	
7	0,847	6			9,59		87,37			-53,50				-29,93	-38,89		50,28			
8	0,847	6					79,42			-69,68	3,54	-9,01				59,03	48,03			
9	0,847	7					79,42			-69,68	3,54	-9,01				59,03	48,03	0,00		
10	0,846	6					79,36			-69,68	3,54					59,05	47,96	-9,00		

**Quadro 13 Modelo 3 - R<sup>2</sup> ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para o modelo de previsão da MS com base no NDVI n=23.**

	R <sup>2</sup> ajust.	Nº Efeitos	NDVI
1	0,326	1	-0,60

**Quadro 14 Modelo 4 - R<sup>2</sup> ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para o modelo de previsão da MS com base no NDVI n=15.**

	R <sup>2</sup> ajust.	Nº Efeitos	NDVI
1	0,539	1	-0,76

**Quadro 15 Modelo 5 - R<sup>2</sup> ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para os 10 melhores modelos de previsão da MS com base na DR por satélite e altura com MPA, n=23.**

	R² ajust.	Nº Efeitos	altura	SAVI	RB	DVI	NDGRI	PPR	NDGB	PCD	S	I	NDVI	EVI	TVI	PVR	NDRB	HUE	IPVI	NDVIg	SGB
1	0,488	6	2,20						18,28			-7,27	-26,96	19,90							-16,52
2	0,488	6	2,20						18,30			-7,23		19,82					-26,84		-16,54
3	0,487	5	1,73					1,01				-5,81		13,15	-18,37						
4	0,487	5	1,73						1,02			-5,82		13,19	-18,44						
5	0,485	5	1,12				51,94			38,89					72,22					-59,42	
6	0,484	5	1,66									-5,67		12,62	-17,70		-0,95				
7	0,484	6	2,10					14,88				-6,81	-24,68	18,24							-13,36
8	0,483	5	1,67									-5,69		12,66	-17,77						0,96
9	0,483	6	2,10					14,87				-6,77		18,15					-24,56		-13,35
10	0,482	3	0,80							2,87											-2,87

**Quadro 16 Modelo 6 - R<sup>2</sup> ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para os 10 melhores modelos de previsão da MS com base na DR por satélite e altura com MPA, n=15.**

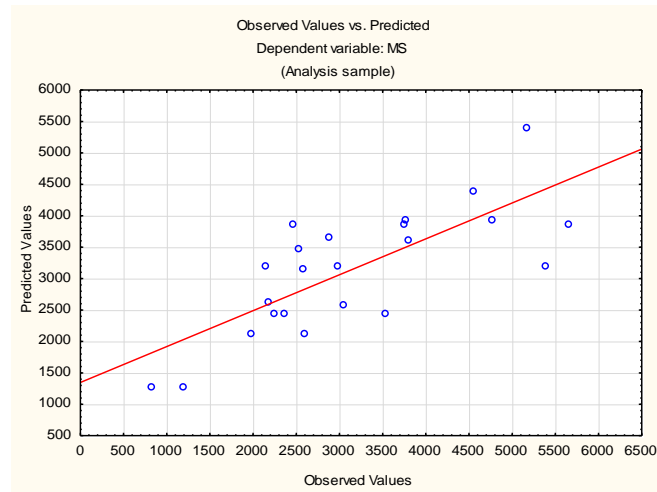
	R <sup>2</sup> ajust.	Nº Efeitos	altura	SAVI	RB	DVI	NDGRI	PPR	NDGB	PCD	S	I	NDVI	EVI	TVI	PVR	NDRB	HUE	IPVI	NDVIg	SGB
1	0,902	8	1,90	48,70		70,03		65,81			-57,56	23,85		-152,51				42,86			
2	0,902	8	1,95			91,01		64,89			-53,09	22,65	18,25	-139,73				43,61			
3	0,902	9	1,95			91,01		64,89			-53,09	22,65	18,25	-139,73				43,61	0,00		
4	0,902	8	1,94			91,83		65,53			-53,52	21,81		-138,33	14,76			43,90			
5	0,902	8	1,95			90,76		64,67			-52,96	22,53		-139,19				43,43	17,97		
6	0,901	8	1,92			101,46		69,52		-10,54	-57,80	16,12		-132,57				45,03			
7	0,900	8	1,90				-598,44					67,27		-172,66	-366,45	-309,00		13,22		321,71	
8	0,900	9	1,90				-598,44					67,27		-172,66	-366,45	-309,00		13,22	0,00	321,71	
9	0,899	8	1,52	301,48				106,25	-86,24					-177,57			-7,55	44,83		-123,92	
10	0,899	8	1,50	300,99			-8,35	106,16	-88,23					-177,24				45,04		-123,81	

**Quadro 17 Modelo 7 - R<sup>2</sup> ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para o modelo de previsão da MS com base no NDVI e na altura com MPA, n=23.**

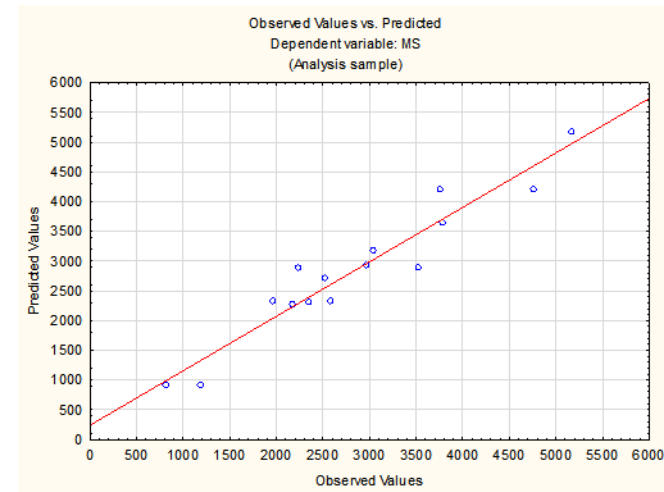
	R <sup>2</sup> ajust.	Nº Efeitos	altura	NDVI
1	0,435	1	0,68	
2	0,430	2	0,52	-0,21
3	0,326	1		-0,60

**Quadro 18 Modelo 8 - R<sup>2</sup> ajustado e coeficiente de regressão estandardizados para o modelo de previsão da MS com base no NDVI e na altura com MPA, n=23.**

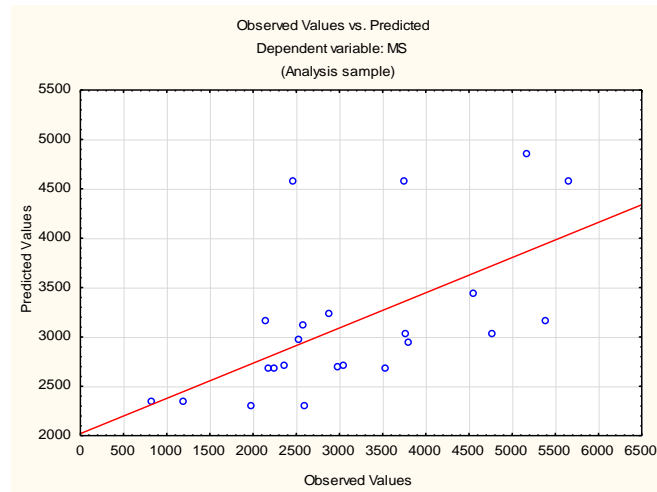
	R <sup>2</sup> ajust.	Nº Efeitos	NDVI	altura
1	0,788442	2	-0,35	0,64
2	0,723878	1		0,86
3	0,538524	1	-0,76	



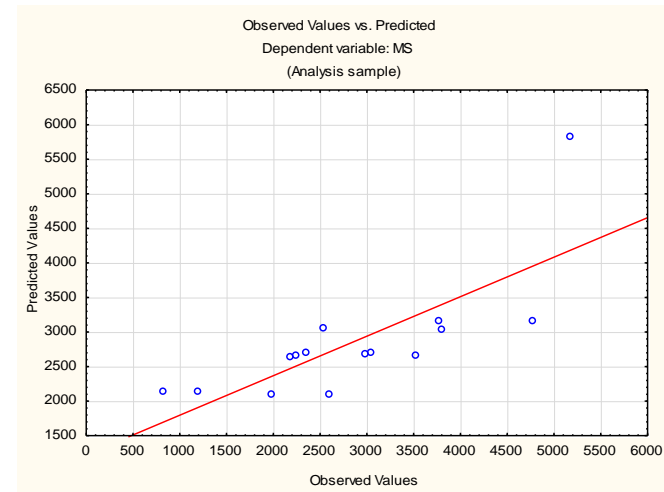
**Figura 32 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 1.**



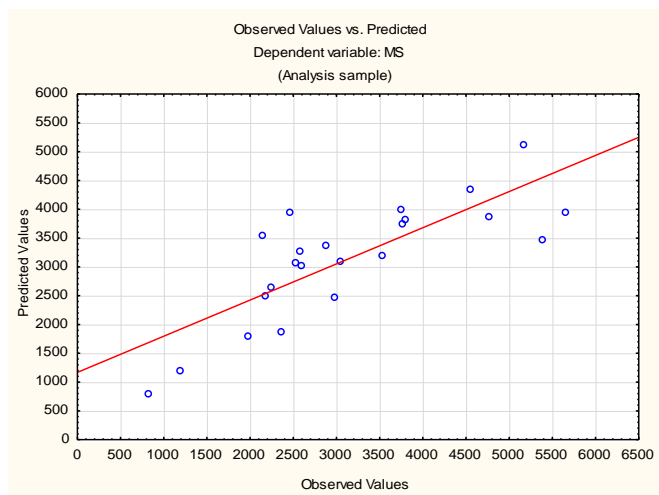
**Figura 33 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 2.**



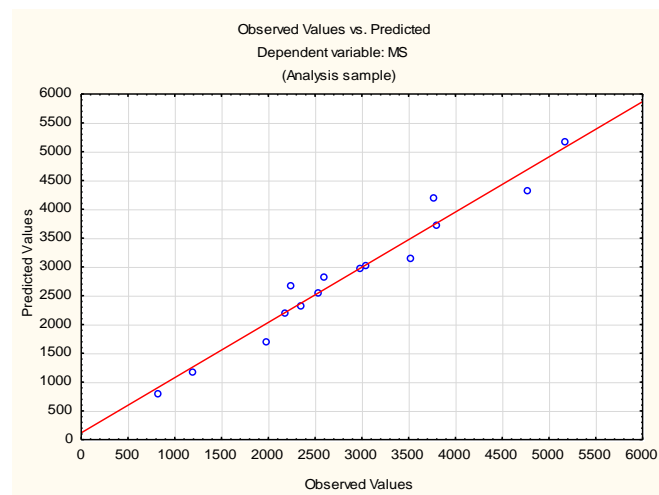
**Figura 34 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 3.**



**Figura 35 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 4.**



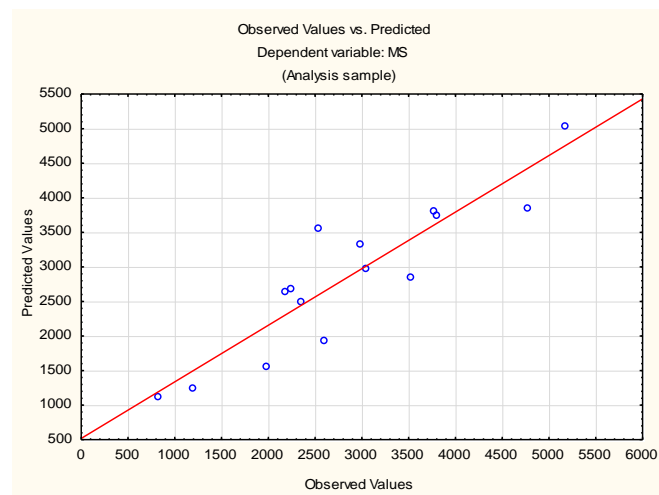
**Figura 36 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 5.**



**Figura 37 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 6.**



**Figura 38 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 7.**



**Figura 39 MS observada (xx) e MS estimada (yy) para Modelo 8.**

## 5. Conclusões

A agricultura de precisão é um sistema cultural que utilizando processos de melhoria contínua se propõe a avaliar e medir a variabilidade espacial das parcelas, permitindo à posteriori, trabalhá-las com benefícios a níveis económicos e ambientais. Apesar desta disciplina estar mais aplicada e desenvolvida para culturas arvenses, a sua utilização em culturas como as culturas pratenses e forrageiras tem, certamente, um grande impacto directo ou indirecto na rentabilidade do agricultor.

Dada a variabilidade espacial presente na parcela em estudo, torna-se útil a utilização de metodologias associadas à AP para cumprir o objectivo principal deste trabalho: avaliação da variabilidade. Os C.V. observados nos dados de campo expressam bem esta variabilidade na amplitude de MS observadas 4832 Kg/ha e um valor de MS médio de 3141,6 Kg/ha. A utilização do MPA e dos IV são instrumentos que, associados a um SIG, possibilitam a medição e avaliação da variabilidade aqui presente.

Entrando nos objectivos de validação do MPA na estimativa da MS na pastagem de regadio em questão, conclui-se que existem algumas limitações à sua utilização, sendo elas a necessidade de calibração do equipamento em função da composição botânica da pastagem e em função da gama de alturas medidas. Na fase de calibração do equipamento foi detectada uma dispersão aleatória entre a altura medida pelo MPA (acima de 200 mm) e a MS amostrada. Excluindo os pontos acima de 200 mm obtém-se um  $R^2$  de 74,4%, face ao  $R^2$  inicial de 46,1%. Posteriormente na fase de validação da calibração pelo método de reamostragem de Jackknife pôde concluir-se que para as condições da calibração o MPA pode ser utilizado com algum rigor na estimativa da MS.

Relativamente à utilização de IV por DR, para caracterizar a variabilidade espacial, pode concluir-se que, após modelação destas variáveis e da MS, o modelo consegue explicar 47,6% da variabilidade encontrada na parcela. Os resultados obtidos por satélite, são analogamente consistentes com os trabalhos de Lourenço (2018) e Martins (2015), respectivamente 56% e 50%.

É de salientar o  $R^2$  ajustado muito idêntico entre os modelos 1 e 5 que utilizam respectivamente a DR por satélite ( $R^2$  ajustado=47,7%) e a DR e a altura ( $R^2$  ajustado=48,8%). O aumento de apenas um ponto percentual na precisão do modelo, sugere que sem a calibração do MPA, este torna-se um equipamento de muito pouca utilidade, uma vez que a DR isolada consegue prever, sem trabalho *in loco*, a MS com um grau de precisão muito idêntico quando adicionada a variável altura do MPA.



A análise destes modelos com a DR e com o MPA sugere a existência de alguma variabilidade na acção da variável altura que não é explicada nem pela DR nem pelo MPA, utilizados em conjunto ou isolados.

O modelo 6, que contém informação relativa à DR por satélite e altura pelo MPA, calibrada para a situação específica do ensaio, obteve um  $R^2$  ajustado de 90,2%, reforçando a necessidade de calibração do MPA.

## 6. Bibliografia

- Adamchuk, V. I., J. W. Hummel, M. T. Morgan, e S. K. Upadhyaya. 2004. «On-the-go soil sensors for precision agriculture». *Computers and Electronics in Agriculture* 44(1):71–91.
- AOPA. sem data. «Soil Sampling». Pp. 87–97 em. Alberta - Agriculture and Forest.
- Atzberger, C. 2013. «Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs». *Remote Sensing* 5(2):949–81.
- Auernhammer, H. 2001. «Precision farming - The environmental challenge». *Computers and Electronics in Agriculture* 30(1–3):31–43.
- Bert, D. V. A. e V. Gils. 2010. «MultiSward - Multi-species swards and multi-scale strategies for multifunctional grassland-based ruminant production systems». *General Meeting of the European Grassland Federation* 39–40.
- Braga, R. 2014. «Entrevista a Ricardo Braga | Portal Agronegócios.eu». Obtido 28 de Julho de 2018 (<http://www.agronegocios.eu>).
- Braga, R. e P. A. Pinto. 2011. «Agricultura de precisão: adoção & principais obstáculos». *Agrotec: revista técnico-científica agrícola* 1:84–89.
- Bransby, D. I., A. G. Matches, e G. F. Krause. 1977. «Disk Meter for Rapid Estimation of Herbage Yield in Grazing Trials». *Agronomy Journal* 69:393–96.
- Cardoso, J. C. 1965. *Os Solos de Portugal. Sua classificação, caracterização e génese*. Lisboa: Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas. 303 pp.
- Carvalho, R. C. R., A. A. R. Athayde, A. R. Valeriano, L. T. Medeiros, e J. C. Pinto. 2008. «Methods for determining the availability of forage - Review». *Ciência et Praxis* 1(2):7–10.
- Coelho, J. P. C. e J. R. Marques da Silva. 2009. *Agricultura de Precisão*. Lisboa: AJAP. 125 pp.
- Coelho, J. P. C., L. M. Silva, M. Tristany, M. de C. Neto, e P. A. Pinto. 2003. *Agricultura de precisão*. Lisboa: Prefácio. 75 pp.
- Crespo, D. 1980. «“Pastagens e Forragens” – Volume 1». *Revista da Sociedade Portuguesa de Pastagens e Forragens (SPPF)*, 5–10.
- Crespo, D. 2010. «Qual o papel das pastagens e forragens no desenvolvimento da agricultura». *Trifólia*, 1–2.
- Crespo, D. 2011. «Em tempos de crise qual o papel das pastagens e forragens no desenvolvimento da agricultura». *Agrotec: revista técnico-científica agrícola* 1:30–32.
- Crespo, D. 2015. «O papel das pastagens biodiversas na sua recuperação e uso sustentável». Pp. 1–6 em. INIAV.
- Earle, D. F. e A. A. McGowan. 1979. «Evaluation and calibration of an automated rising plate meter for estimating dry matter yield of pasture». *Australian Journal of Experimental Agriculture* 19:337–43.

- Efe Serrano, J. 2006. *Pastagens do Alentejo: bases técnicas sobre caracterização, pastoreio e melhoramento*. Évora: ICAAM. 219 pp.
- Freire, J. 2011. «Pastagens e forragens - Técnicas fundamentais para o sucesso». *Ruminantes*, 44–45.
- GPPP. 2017. «Análise sumária da evolução das características estruturais das explorações agrícolas-Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas 2016». Obtido 26 de Maio de 2018 (<http://www.gpp.pt>).
- Gramshaw, D. 1995. «The forage base: climate, soils and pasture». *Integrated management for sustainable forage-based livestock systems in the tropics* 7–25.
- Grave, A. 2013. «Avaliação da variabilidade espacial da produtividade e qualidade da azeitona e azeite num olival semi-intensivo». Dissertação de Mestrado; Instituto Superior de Agronomia.
- Haydock, K. P. e N. H. Shaw. 1975. «The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture». *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 15:663–70.
- Huete, A. R. 1988. «A soil-adjusted vegetation index (SAVI)». *Remote Sensing of Environment* 25(3):295–309.
- Huyghe, C., A. Vlieghe, B. Gils, e A. Peeters. 2014. *Grasslands and herbivore production in Europe and effects of common policies*. Versailles: Editions Quae. 287 pp.
- INE. 2011. «Recenseamento Agrícola 2009 - Análise dos principais resultados». Obtido 25 de Maio de 2018 (<http://www.ine.pt/>).
- INE. 2016. «Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas 2016». Obtido 25 de Maio de 2018 (<http://www.ine.pt/>).
- Jensen, J. R. 2000. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. Edimburgo: Pearson. 614 pp.
- Kolomeychenko, V. V. 2005. «Utilisation of photosynthetic active radiation by grasslands in time and in space». P. 201 em *XX International Grassland Congress: Offered papers*.
- Lemaire, G., John Hodgson, e Abad Chabbi. 2011. *Grassland productivity and ecosystem services*. Oxfordshire: CAB International. 287 pp.
- Lourenço, A. O. S. S. 2018. «Agricultura de Precisão em Pastagens Caracterização e modelação da variabilidade espacial da produtividade e da composição botânica de uma pastagem melhorada de sequeiro». Dissertação de Mestrado; Instituto Superior de Agronomia.
- Macadam, J. W. e S. R. Hunt. 2015. «Using a Rising Plate Meter to Determine Paddock Size for Rotational Grazing». *AG/FORAGES Extension Utah State University*, 6.
- Mannetje, L. T. 2002. «Advances in grassland science». *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 50(2):195–221.
- Martins, A. C. F. B. 2015. «Agricultura de Precisão em Pastagens Avaliação quantitativa e qualitativa da variabilidade espacial de uma pastagem melhorada de sequeiro no Alentejo». Dissertação de Mestrado; Instituto Superior de Agronomia.

- MathWorks, Inc. 2015. «Jackknife Resampling». Obtido 14 de Julho de 2018 (<https://www.mathworks.com>).
- McBratney, A. B., B. Whelan, T. Ancev, e J. Bouma. 2005. «Future Directions of Precision Agriculture». *Precision Agriculture* 6(July 2004):7–23.
- Menezes de Sequeira, E. 1997. «As Pastagens, a nova PAC e o ambiente no Alentejo. Pastagens e Forragens». *Pastagens e Forragens*, 49–74.
- Michell, P. e R. V. Large. 1983. «The estimation of herbage mass of perennial ryegrass swards : a comparative evaluation of a rising-plate meter and a single- probe capacitance meter calibrated at and above ground level». *Grass and Forage Science* 38:295–99.
- Moore, A. D., J. R. Donnelly, e M. Freer. 1997. «Grazplan: Decision support systems for Australian grazing enterprises. III. Pasture growth and soil moisture submodels, and the GrassGro DSS». *Agricultural Systems* 55(4):535–82.
- Moreira, M. B. e I. S. Coelho. 2008. *A silvopastoricia na prevenção dos fogos rurais*. Lisboa: ISAPress. 204 pp.
- Moreira, N. 2002. *Agronomia das forragens e pastagens*. editado por Sector Editorial. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 183 pp.
- Mountford, G. L., P. M. Atkinson, J. Dash, T. Lankester, e S. Hubbard. 2017. «Sensitivity of Vegetation Phenological Parameters: From Satellite Sensors to Spatial Resolution and Temporal Compositing Period». *Sensitivity Analysis in Earth Observation Modelling* 75–90.
- Murray, R. I., I. J. Yule, e A. G. Gillingham. 2007. «Developing variable rate application technology: Modelling annual pasture production on hill country». *New Zealand Journal of Agricultural Research* 50(1):41–52.
- Parsons, A. J., E. L. Leafe, B. Collett, P. D. Penning, e J. Lewis. 1983a. «The physiology of grass production under grazing I». *Journal of Applied Ecology* 20(1):127–39.
- Parsons, A. J., E. L. Leafe, B. Collett, P. D. Penning, e J. Lewis. 1983b. «The physiology of grass production under grazing II». *Journal of Applied Ecology* 20(1):127–39.
- Parthasarathy, U. 2010. «Importance of GIS in Agriculture». *Financing Agriculture* 42:6–9.
- Pearson, C. J. e R. L. Ison. 1998. *Agronomy of Grassland Systems*. Cambridge: Cambridge University Press. 222 pp.
- Penteado, M. 2014. «Utilização de imagens de alta resolução de Detecção Remota na gestão do montado de sobro». Dissertação de Mestrado; Instituto Superior de Agronomia.
- Pierce, F. J. e P. Nowak. 1999. «Aspects of Precision Agriculture». *Advances in Agronomy*, 9–20.
- Piggot, G. J. 1986. «Methods For Estimating Pasture Dry Matter On Dairy Farms In Northland». *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 47:243–47.
- Pullanagari, R. R. et al. 2012. «In-field hyperspectral proximal sensing for estimating quality parameters of mixed pasture». *Precision Agriculture*, 351–69.

- Qi, J., A. Chehbouni, A. R. Huete, Y. H. Kerr, e S. Sorooshian. 1994. «A modified soil adjusted vegetation index». *Remote Sensing of Environment*, 119–26.
- Rochette, P. e N. Bertrand. 2008. *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Boca Raton: Canadian Society of Soil Science. 1205 pp.
- Rossel, R. A. V. e A. B. McBratney. 1998. «Soil chemical analytical accuracy and costs: implications from precision agriculture». *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38:765–75.
- Schellberg, J., M. J. Hill, R. Gerhards, M. Rothmund, e M. Braun. 2008. «Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints». *European Journal of Agronomy* 29(2–3):59–71.
- Serrano, J., J. Peça, J. Marques da Silva, e S. Shahidian. 2014. «Avaliação de tecnologias para aplicação diferenciada de fertilizantes: novos conceitos de gestão em pastagens permanentes». *Revista de Ciências Agrárias*, 253–69.
- Stafford, J. V. 2000. «Implementing precision agriculture in the 21st century». *Journal of Agricultural and Engineering Research* 76(3):267–75.
- Tristany, M. 2010. «Um sistema de informação para a análise multi-dimensional da actividade agrícola - Aplicação em diversos casos do panorama agrícola nacional». Dissertação de Mestrado; Instituto Superior de Agronomia.
- Trotter, M. 2009. *Precision agriculture for pasture, rangeland and livestock systems Mark*. Victoria. 6 pp.
- Wal, T. V. D. 2017. «Innovative technologies in agriculture and the potential for policy design and control». 41.
- Wang, Q., S. Adiku, J. Tenhunen, e A. Granier. 2005. «On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site». *Remote Sensing of Environment* 94(2):244–55.
- Wit, C. T. 1965. *Photosynthesis of leaf canopies*. Wageningen: Centre for Agricultural Publications and Documentation, Wageningen. 57 pp.
- Wollenhaupt, N. C. e C. A. G. Crawford. 1997. «Soil Sampling and Interpolation Techniques». *The State of Site-Specific Management for Agriculture*, 19–53.
- Xue, J. e B. Su. 2017. «Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications». *Journal of sensors* : 17.
- Yengoh, G. T., D. Dent, L. Olsson, A. E. Tengberg, e C. J. Tucker III. 2014. *Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Land Degradation at Multiple Scales*. LUCSUS. Lund.
- Zhang, N., M. Wang, e N. Wang. 2002. «Precision agriculture—a worldwide overview». *Computers and Electronics in Agriculture*, Novembro, 113–32.

## 7. Anexo

### 7.1. Quadros da Amostragem de Campo

Quadro 19 Pontos de amostragem de biomassa, com MV e MS

Ponto	MV g/0,0625m2				MS g/0,0625m2				MV Kg/ha				MS Kg/ha			
	MIG	MIL	MIO	MIT	MFG	MFL	MFO	MFT	MVG	MVL	MVO	MVT	MSG	MSL	MSO	MST
1	0,00	23,30	5,60	28,90	0,80	4,30	0,00	5,10	0,00	3728,00	896,00	4624,00	128,00	688,00	0,00	816,00
2	21,40	3,30	1,00	25,70	6,30	0,90	0,20	7,40	3424,00	528,00	160,00	4112,00	1008,00	144,00	32,00	1184,00
3	25,30	10,70	13,60	49,60	7,40	2,40	2,50	12,30	4048,00	1712,00	2176,00	7936,00	1184,00	384,00	400,00	1968,00
4	48,10	10,00	1,60	59,70	13,50	2,30	0,40	16,20	7696,00	1600,00	256,00	9552,00	2160,00	368,00	64,00	2592,00
5	34,10	7,40	32,80	74,30	7,30	1,20	6,20	14,70	5456,00	1184,00	5248,00	11888,00	1168,00	192,00	992,00	2352,00
6	31,70	21,80	4,90	58,40	8,20	4,60	0,80	13,60	5072,00	3488,00	784,00	9344,00	1312,00	736,00	128,00	2176,00
7	45,10	28,00	0,00	73,10	9,40	4,60	0,00	14,00	7216,00	4480,00	0,00	11696,00	1504,00	736,00	0,00	2240,00
8	67,40	26,70	35,30	129,40	13,50	4,40	4,10	22,00	10784,00	4272,00	5648,00	20704,00	2160,00	704,00	656,00	3520,00
9	65,50	12,30	3,80	81,60	16,10	2,30	0,60	19,00	10480,00	1968,00	608,00	13056,00	2576,00	368,00	96,00	3040,00
10	66,50	17,50	7,80	91,80	14,90	2,40	1,30	18,60	10640,00	2800,00	1248,00	14688,00	2384,00	384,00	208,00	2976,00
11	33,80	21,50	11,40	66,70	8,70	4,20	2,90	15,80	5408,00	3440,00	1824,00	10672,00	1392,00	672,00	464,00	2528,00
12	88,50	17,10	1,40	107,00	20,70	3,00	0,00	23,70	14160,00	2736,00	224,00	17120,00	3312,00	480,00	0,00	3792,00
13	90,20	0,00	1,90	92,10	23,10	0,00	0,40	23,50	14432,00	0,00	304,00	14736,00	3696,00	0,00	64,00	3760,00
14	93,20	34,90	10,10	138,20	22,40	5,30	2,10	29,80	14912,00	5584,00	1616,00	22112,00	3584,00	848,00	336,00	4768,00
15	63,60	21,90	7,00	92,50	13,50	3,50	1,00	18,00	10176,00	3504,00	1120,00	14800,00	2160,00	560,00	160,00	2880,00
16	97,50	47,90	10,60	156,00	25,30	6,70	1,60	33,60	15600,00	7664,00	1696,00	24960,00	4048,00	1072,00	256,00	5376,00
17	35,40	15,40	1,30	52,10	9,90	3,30	0,20	13,40	5664,00	2464,00	208,00	8336,00	1584,00	528,00	32,00	2144,00
18	40,70	49,50	13,50	103,70	8,10	6,20	1,80	16,10	6512,00	7920,00	2160,00	16592,00	1296,00	992,00	288,00	2576,00
19	99,50	36,10	17,80	153,40	20,30	5,20	2,90	28,40	15920,00	5776,00	2848,00	24544,00	3248,00	832,00	464,00	4544,00
20	45,70	20,50	1,40	67,60	11,50	3,70	0,20	15,40	7312,00	3280,00	224,00	10816,00	1840,00	592,00	32,00	2464,00
21	69,90	42,70	1,60	114,20	17,30	5,80	0,30	23,40	11184,00	6832,00	256,00	18272,00	2768,00	928,00	48,00	3744,00
22	123,70	21,90	2,50	148,10	31,80	3,10	0,40	35,30	19792,00	3504,00	400,00	23696,00	5088,00	496,00	64,00	5648,00
23	85,40	58,40	7,50	151,30	20,70	10,40	1,20	32,30	13664,00	9344,00	1200,00	24208,00	3312,00	1664,00	192,00	5168,00

**Quadro 20 Pontos brutos de amostragem com diferenças de peso MS, MV e alturas medidas pelo MPA (a sublinhado os pontos retirados nas regressões)**

Ponto	MS-MV	% Humidade	MS	Altura (mm)
1	-3808	-0,82	816	22
2	-2928	-0,71	1184	32
3	-5968	-0,75	1968	58
4	-6960	-0,73	2592	88
5	-9536	-0,80	2352	111
6	-7168	-0,77	2176	124
7	-9456	-0,81	2240	127
8	-17184	-0,83	3520	140
9	-10016	-0,77	3040	148
10	-11712	-0,80	2976	177
11	-8144	-0,76	2528	181
12	-13328	-0,78	3792	196
13	-10976	-0,74	3760	197
14	-17344	-0,78	4768	200
15	-11920	-0,81	2880	219
16	-19584	-0,78	5376	219
17	-6192	-0,74	2144	221
18	-14016	-0,84	2576	228
19	-20000	-0,81	4544	244
20	-8352	-0,77	2464	247
21	-14528	-0,80	3744	248
22	-18048	-0,76	5648	247
23	-19040	-0,79	5168	196

**Quadro 21 MS estimada a partir do método Jackknife**

Ponto	MS observada (kgMS/ha)	MS estimada (kgMS/ha)	Erro Absoluto (kgMS/ha)	Erro Relativo (%)
1	816,0	1032,25	216,25	26,50
2	1184,0	1119,54	-64,46	-5,44
3	1968,0	1496,48	-471,52	-23,96
4	2592,0	2030,64	-561,36	-21,66
5	2352,0	2492,47	140,47	5,97
6	2176,0	2741,77	565,77	26,00
7	2240,0	2791,39	551,39	24,62
8	3520,0	2936,14	-583,86	-16,59
9	3040,0	3117,30	77,30	2,54
10	2976,0	3678,56	702,56	23,61
11	2528,0	3816,64	1288,64	50,97
12	3792,0	3722,53	-69,47	-1,83
23	5168,0	3952,04	-1215,96	-23,53
13	3760,0	3977,87	217,87	5,79
14	4768,0	3858,09	-909,91	-19,08

## 7.2. Quadros da Detecção Remota

Quadro 22 IV por obtido por satélite relativo a cada ponto amostrado.

ID	altura	MS	Latitude	Longitude	SAVI	RB	DVI	NDGR	PPR.	NDGB	PCD	S	I
1	22	816	38,73378	-8,53068	0,340	0,848	0,204	-0,088	1,012	0,006	3,075	-0,049	0,331
2	32	1184	38,73248	-8,53189	0,370	0,849	0,231	-0,090	1,017	0,009	3,245	-0,047	0,347
3	58	1968	38,73247	-8,53195	0,370	0,849	0,231	-0,090	1,017	0,009	3,245	-0,047	0,347
4	88	2592	38,73248	-8,53193	0,370	0,849	0,231	-0,090	1,017	0,009	3,245	-0,047	0,347
5	111	2352	38,73234	-8,53126	0,420	0,779	0,260	-0,151	1,057	0,028	4,090	-0,058	0,306
6	124	2176	38,73222	-8,52999	0,469	0,707	0,297	-0,198	1,057	0,028	4,884	-0,085	0,299
7	127	2240	38,73253	-8,53167	0,438	0,765	0,276	-0,160	1,057	0,028	4,285	-0,063	0,310
8	140	3520	38,73279	-8,53152	0,451	0,726	0,283	-0,180	1,045	0,022	4,555	-0,083	0,304
9	148	3040	38,73234	-8,53117	0,438	0,744	0,273	-0,163	1,034	0,017	4,353	-0,080	0,304
10	177	2976	38,73266	-8,53082	0,465	0,715	0,293	-0,193	1,056	0,027	4,839	-0,083	0,296
11	181	2528	38,73266	-8,53051	0,494	0,686	0,317	-0,207	1,044	0,021	5,318	-0,099	0,292
12	196	3792	38,73246	-8,53157	0,448	0,722	0,281	-0,178	1,034	0,017	4,487	-0,089	0,308
13	197	3760	38,73019	-8,52693	0,457	0,698	0,284	-0,193	1,032	0,016	4,853	-0,099	0,288
14	200	4768	38,73266	-8,53052	0,494	0,686	0,317	-0,207	1,044	0,021	5,318	-0,099	0,292
15	219	2880	38,73151	-8,53046	0,450	0,729	0,282	-0,185	1,060	0,029	4,575	-0,076	0,302
16	219	5376	38,73281	-8,53116	0,438	0,744	0,273	-0,163	1,034	0,017	4,353	-0,080	0,304
17	221	2144	38,73211	-8,52994	0,470	0,723	0,299	-0,195	1,072	0,035	4,840	-0,073	0,301
18	228	2576	38,73267	-8,53067	0,494	0,673	0,316	-0,207	1,025	0,012	5,369	-0,112	0,290
19	244	4544	38,73258	-8,5303	0,468	0,716	0,296	-0,196	1,066	0,032	4,869	-0,078	0,297
20	247	2464	38,73258	-8,5303	0,468	0,716	0,296	-0,196	1,066	0,032	4,869	-0,078	0,297
21	248	3744	38,73269	-8,53068	0,494	0,673	0,316	-0,207	1,025	0,012	5,369	-0,112	0,290
22	247	5648	38,73014	-8,52726	0,436	0,735	0,270	-0,165	1,025	0,012	4,397	-0,087	0,298
23	196	5168	38,73246	-8,53157	0,448	0,722	0,281	-0,178	1,034	0,017	4,487	-0,089	0,308



(Quadro 22 continuação)

ID	altura	MS	Latitude	Longitude	NDVI	EVI	TVI	PVR	NDRB	HUE	IPVI	NDV	SGB
1	22	816	38,73378	-8,53068	0,509	0,498	1,005	1,193	-0,082	0,000	0,755	0,441	0,001
2	32	1184	38,73248	-8,53189	0,529	0,554	1,014	1,198	-0,082	0,000	0,764	0,461	0,002
3	58	1968	38,73247	-8,53195	0,529	0,554	1,014	1,198	-0,082	0,000	0,764	0,461	0,002
4	88	2592	38,73248	-8,53193	0,529	0,554	1,014	1,198	-0,082	0,000	0,764	0,461	0,002
5	111	2352	38,73234	-8,53126	0,607	0,625	1,052	1,356	-0,124	-0,001	0,804	0,502	0,006
6	124	2176	38,73222	-8,52999	0,660	0,726	1,077	1,495	-0,171	-0,001	0,830	0,531	0,006
7	127	2240	38,73253	-8,53167	0,622	0,663	1,059	1,382	-0,133	-0,001	0,811	0,512	0,006
8	140	3520	38,73279	-8,53152	0,640	0,696	1,068	1,439	-0,159	-0,001	0,820	0,520	0,005
9	148	3040	38,73234	-8,53117	0,626	0,668	1,061	1,389	-0,147	-0,001	0,813	0,516	0,004
10	177	2976	38,73266	-8,53082	0,657	0,714	1,076	1,478	-0,166	-0,001	0,829	0,532	0,006
11	181	2528	38,73266	-8,53051	0,683	0,771	1,088	1,521	-0,186	-0,001	0,842	0,555	0,005
12	196	3792	38,73246	-8,53157	0,636	0,698	1,066	1,432	-0,162	-0,001	0,818	0,516	0,004
13	197	3760	38,73019	-8,52693	0,658	0,703	1,076	1,478	-0,178	-0,001	0,829	0,533	0,003
14	200	4768	38,73266	-8,53052	0,683	0,771	1,088	1,521	-0,186	-0,001	0,842	0,555	0,005
15	219	2880	38,73151	-8,53046	0,641	0,689	1,068	1,454	-0,157	-0,001	0,821	0,518	0,007
16	219	5376	38,73281	-8,53116	0,626	0,668	1,061	1,389	-0,147	-0,001	0,813	0,516	0,004
17	221	2144	38,73211	-8,52994	0,658	0,722	1,076	1,484	-0,161	-0,001	0,829	0,531	0,008
18	228	2576	38,73267	-8,53067	0,686	0,778	1,089	1,523	-0,196	0,000	0,843	0,558	0,003
19	244	4544	38,73258	-8,5303	0,659	0,718	1,077	1,488	-0,165	-0,001	0,830	0,532	0,007
20	247	2464	38,73258	-8,5303	0,659	0,718	1,077	1,488	-0,165	-0,001	0,830	0,532	0,007
21	248	3744	38,73269	-8,53068	0,686	0,778	1,089	1,523	-0,196	0,000	0,843	0,558	0,003
22	247	5648	38,73014	-8,52726	0,629	0,664	1,063	1,394	-0,153	0,000	0,815	0,518	0,003
23	196	5168	38,73246	-8,53157	0,636	0,698	1,066	1,432	-0,162	-0,001	0,818	0,516	0,004

### 7.3. Quadros da Modelação

Quadro 23 Equações de previsão de MS baseado nos diferentes modelos criados e respectivos R<sup>2</sup> ajustados.

Modelo	Quadro	Equação previsão MS	R <sup>2</sup> ajustado
1	Quadro 11	$= 45947,3 - 7843998,3 * \text{NDGRI} - 7528373,1 * \text{NDGB} - 107527,5 * \text{NDVI} + 7690441,2 * \text{NDRB}$	0,476
2	Quadro 12	$= -6622931,5 + 2335673,9 * \text{NDGRI} + 6407688,5 * \text{PPR} - 4611237,1 * \text{S} + 673458,6 * \text{I} - 106403,2 * \text{EVI} + 186420168 * \text{HUE}$	0,853
3	Quadro 13	$= -3915,7 + 11 * \text{I} - 19930,5 * \text{NDGRI}$	0,248
4	Quadro 14	$= 293,2 - 13587,9 * \text{NDRBI} + 65,8 * \text{SGB}$	0,376
5	Quadro 15	$= 332550,1 + 40,9 * \text{altura} + 2736775,8 * \text{NDGB} - 515472,1 * \text{I} - 651931,2 * \text{NDVI} + 334580,8 * \text{EVI} - 11322948 * \text{SGB}$	0,488
6	Quadro 16	$= -5366405,3 + 37,5 * \text{altura} + 1553686,3 * \text{SAVI} + 3026422,7 * \text{DVI} + 4468473,10 * \text{PPR} - 4299968,1 * \text{S} + 2671087,5 * \text{I} - 2726991,6 * \text{EVI} + 156327606 * \text{HUE}$	0,902
7	Quadro 17	$= 18662,1 + 14,3 * \text{altura} + 61276,6 * \text{NDRBI} - 19872,9 * \text{RB}$	0,55
8	Quadro 18	$= -4692333,8 + 23,6518765 * \text{altura} - 78647005 * \text{NDGBI} - 341,88749 * \text{I} + 85222644,2 * \text{NDRBI} - 6173598,3 * \text{PPR} - 4260594,5 * \text{S} - 84325100 * \text{NDGRI} + 5655561,8 * \text{RB} + 5345182,9 * \text{PVR} + 1192,4 * \text{SGB}$	0,733